Roland Bechmann

Le radici delle cattedrali

L'architettura gotica espressione delle condizioni ambientali

Edizioni
Arkeios

Roland Bechmann

Le radici delle cattedrali

L'architettura gotica espressione delle condizioni ambientali

Traduzione di Giangiacomo Amoretti

Indice

Seconda parte
La costruzione gotica

Una parte molto ampia di quest'opera deriva dalla tesi di dottorato del 3° ciclo di Geografia, sostenuta nel giugno 1978 presso l'Università di Parigi VII, sul tema "Influenza dei fattori dell'ambiente sull'architettura – esempio dell'architettura gotica".

Tengo a ringraziare coloro che hanno voluto, durante gli anni di elaborazione della tesi e dell'opera, prenderne conoscenza ed offrirmi i loro consigli, le loro critiche e il loro incoraggiamento: fra di essi (in ordine cronologico) Jacques Le Goff, Gilles Sautter, Maurice Agulhon, Georges Duby, Georges-Henri Rivière, Jean Prouve, Jean Keilling, J.-C. Fischer, Marc Eyrolles, J.-M. Domenach, Andrée Martinerie, Martine Monod, Stéphane Duchateau, Marianne Levy Alcover e alcuni altri, senza dimenticare la commissione di tesi: Etienne Dalmasso, Pierre Racine, Michel Parent, Christian Souchon, Alexis Ferrand; e infine quelle che, ricominciando venti volte il loro lavoro, ne hanno assicurato la dattilografia, in particolare Micheline Gobbe e Françoise Charpentier, senza omettere l'aiuto multiforme portato da Martine Bechmann.

E devo ricordare l'importanza, nella genesi delle mie riflessioni, dei miei incontri, ahimè incompiuti, fra le montagne del Vercors, con Jean Prévost, la cui curiosità inestinguibile, la cui cultura universale e il cui amore dell'architettura mi hanno aiutato ad acquistare una veduta più globale e più ecologica dei multiformi legami fra l'uomo, il suo ambiente e le sue opere.

R.B.

Prefazione

Roland Bechmann, nella sua carriera, ha avuto l'originalità di sposare l'arte della costruzione con l'ecologia. Nella presente opera, elisir di tale esperienza, egli mira ad inserire l'architettura gotica nell'ambiente naturale ed umano che ne permise l'avvento. È nella terra, nel suolo coltivato, nella foresta, che egli ha cercato le radici delle cattedrali.

L'"ambiente", la "costruzione", l'"organizzazione gotica" vengono studiati, in altrettanti capitoli, al fine di offrire una veduta sintetica dei cambiamenti che precedettero, attraversarono e seguirono questa grande epoca dell'architettura – epoca che l'autore, in conclusione, ardisce, non senza giustificazione, di avvicinare alla nostra, in base ad alcuni elementi comuni.

Egli ha potuto disporre, per far questo, di parecchi vantaggi: la sua formazione universitaria di storico, il suo lavoro di regolatore dello spazio, la sua esperienza nei cantieri, le sue riconosciute qualità di esperto dell'ambiente, dello sviluppo e della pianificazione.

Le correlazioni messe in evidenza, le ipotesi avanzate, le conclusioni proposte: sono altrettanti punti che faranno insorgere polemicamente tanti specialisti nei territori dei quali egli si è voluto inoltrare... Alcuni diranno che è andato troppo lontano sugli spinosi cammini dell'interdisciplinarità; altri diranno che non vi si è spinto abbastanza e gli rimprovereranno di avere un po' trascurato quella finalità fondamentale del monumeto religioso che è la liturgia. Sta a lui, poiché ne ha i mezzi, di proseguire la sua avventura e di avanzare in nuovi campi. Il tempo è con lui, uomo felice...

GEORGES-HENRI RIVIÈRE

Mi rifiuto [...] di affermare
che esista, in ultima analisi,
un elemento decisivo:
io ritengo
che tutto sia determinato da tutto
e che tutto determini tutto.

Georges Duby
Le Monde-Dimanche, 24 maggio 1981

Introduzione

ARCHITETTURA, ESPRESSIONE DELL'AMBIENTE

Alla fine degli anni Cinquanta avevo ricevuto l'incarico di costruire, nella nuova capitale della Mauritania, un complesso destinato ai locali funzionali e alle abitazioni dei quadri di una Banca Centrale. Il denaro era limitato. Era possibile disporre di una mano d'opera locale abbondante, ma priva di qualificazione tecnica, inquadrata da alcuni operai qualificati francesi che dovevano essere utilizzati in modo razionale al massimo delle loro capacità. Taluni materiali s'imponevano, in particolare il calcestruzzo, grazie alla possibilità di utilizzare degli aggregati – sabbie e ghiaie – disponibili in quantità sufficiente sul posto. Ma bisognava economizzare il cemento, l'acciaio e il legno per le casseforme, materiali tutti che erano importati e quindi di caro prezzo, non esistendo a quell'epoca nessun porto a Nouakchott.

Mi sembrò che una risposta ai problemi a cui ci trovavamo di fronte fosse l'uso di strutture a volta, le quali "lavorando" alla compressione, richiedono poco acciaio, a differenza delle travi diritte, e di preferenza l'uso di volte sottili, per le quali è sufficiente un limitato volume di calcestruzzo, e quindi di cemento, per metro quadrato. La mancanza di legno mi portò, da una parte ad uniformare, secondo uno standard rigoroso degli elementi delle volte, così da poter gettare, con la medesima cassaforma, un gran numero di elementi ripetitivi, e d'altra parte a ideare un sistema di supporti verticali costituito da pali in calcestruzzo armato prefabbricati sul posto, per terra, tale da permettere anch'esso di economizzare sulle casseforme di legno, giacché tutto l'insieme dei pali standardizzati derivava da un numero molto piccolo di stampi. I pali venivano poi rimessi in verticale e le volte venivano gettate per legarne insieme i vertici. Per semplificare le

casseforme delle volte, le concepii secondo un dispositivo a "fisarmonica" a struttura tridimensionale, cioè con elementi piani che si appoggiavano e si sostenevano l'uno con l'altro. Era necessario, poi, riuscire a costruire queste volte con precisione assoluta. Per rispondere ai particolari imperativi del clima, era utile piazzare le aperture di illuminazione molto vicino alla sporgenza dei tetti, in modo che i raggi del sole non penetrassero direttamente e fosse possibile far uscire l'aria calda con il suo movimento naturale; ma si trattava di una banca, nella quale tutte le aperture dovevano essere protette da griglie regolamentari molto massicce e rigide. Pensai, pertanto, di far collocare queste griglie a partire dal termine della parte bassa dei muri esterni e di usarle come guide estremamente precise e indeformabili per piazzare le casserature degli elementi di volta tra i pali. Queste griglie venivano insomma ad assumere lo stesso ruolo che avevano, per gli antichi costruttori di volte, gli archi *formerets*, quegli archi tracciati sui muri esterni che servivano da guida per la "forma" della volta.

Lo stile della costruzione, risultando da così numerose difficoltà, che obbligavano inevitabilmente ad escogitare soluzioni originali, era molto diverso da quello delle mie abituali realizzazioni. Questa esperienza, insieme a quella che avevo avuto qualche anno prima, alla fine della guerra, quando, solo con qualche operaio, mi ero costruito una casa, il cui stile aveva anch'esso risentito delle particolari condizioni di costruzione, mi diede concreti elementi di riflessione sulle motivazioni, la genesi e l'evoluzione delle tecniche di costruzione e degli stili che ne sono l'espressione.

Queste riflessioni portavano una nuova luce su alcuni problemi che mi ero posto al tempo in cui ero studente di architettura alle "Belle Arti", nello stesso periodo in cui stavo preparando la mia tesi di Storia, alla Sorbona: ero rimasto colpito dal fatto che alcuni storici dell'arte, per mancanza, mi sembrava, di esperienza pratica di costruzione, attribuivano a motivazioni astratte e a speculazioni estetiche o simboliche un'importanza che mi sembrava esagerata, nella scelta delle forme o nell'evoluzione degli stili e dei procedimenti di costruzione. Ora, è abituale presso gli architetti di ogni tempo giustificare a posteriori una concezione con teorie, simboli, figure e principi: essi preferiscono spesso non confessare che è loro necessario, prima di ogni altra cosa, sottomettersi alle forze della natura, alle leggi della fisica, alle tecniche, perfino anche a delle costrizioni molto prosaiche; essi rifiutano di ammettere, con una sorta di assurda civetteria, che il loro talento consiste precisamente nel "comporre" in rapporto a tutti questi imperativi e, nel quadro di tali costrizioni, manifestare una concezione quanto più è possibile libera. Vi è, nella maniera con cui i costruttori presentano, o mascherano, le proprie motivazioni, una volontà di avvolgere nel mistero le ricette, i procedimenti, le tecniche manuali: questo atteggiamento, che si sviluppa a partire dall'epoca della creazione della corporazione e della massoneria, trova qualche giustificazione nel desiderio di mantenere elevata la qualificazione del-

l'operaio e la qualità dell'opera: ma esso traduce anche sovente dei motivi meno rispettabili, come il desiderio di riservare ad alcuni privilegi e monopoli; questo modo di fare diventa allora un ostacolo all'innovazione. Sviluppando nella tecnica e nel gergo un esoterismo professionale inaccessibile ai profani, si arriva così a una ricerca di specializzazione che determina una formazione analitica e settoriale. Lo specialista così formato finisce con l'ignorare e col trascurare i numerosi elementi di ogni natura che si aggrovigliano, reagiscono gli uni sugli altri e si combinano, per concorrere alla formazione di un "insieme" e di una sintesi equilibrata. Noi ci possiamo rendere conto, sul finire del XX secolo, degli errori monumentali, addirittura delle catastrofi, a cui possono condurre, in tutti i campi, questo tipo di formazione e i modi di pensare e di agire che ne derivano: la sintesi e la visione generale sfuggono sempre di più all'uomo, in una civiltà industriale e in una società che vanno diventando sempre più complesse.

Un essere vivente, una collettività, una civiltà non possono essere dissociati dall'ambiente dove si trovano, dentro il quale prendono radice, al quale si rapportano con mille legami e verso il quale, a loro volta, esercitano una influenza modificatrice: allo stesso modo, uno stile di costruzione è intimamente legato all'ambiente naturale, sociale, tecnologico e economico dentro il quale nasce e si sviluppa.

Un nuovo e decisivo elemento di riflessione su questi problemi, e in particolare sulle relazioni fra l'architettura e l'ambiente del Medioevo, mi derivò da un certo numero di ricerche che fui incaricato di svolgere negli anni Sessanta. Si trattava, in un'epoca in cui i problemi dell'ambiente non erano ancora all'ordine del giorno, di studiare in alcuni paesi – più precisamente nell'Europa Occidentale e Settentrionale – le misure prese per la protezione dell'ambiente naturale e dei paesaggi, di fronte al crescente impatto del turismo e dei viaggi[1]. Mi resi conto, durante queste ricerche, della molteplicità di interdipendenze fra tutti gli elementi di un ambiente vivo, ma osservai anche la sorprendente coincidenza fra le misure prese, in tutta Europa, a partire dal XIII secolo, per proteggere le foreste – fonti essenziali, in quell'epoca, di combustibili, di materie prime, di materiali da costruzione e di prodotti alimentari, oltre che, nello stesso tempo, fattori permanenti di regolazione climatica e idrologica.

Il bosco è un elemento di primaria importanza nel corso di questo Medioevo. Esso gioca un ruolo che può essere paragonato a quello del petrolio oggi: è, infatti, nello stesso tempo, il combustibile e la materia prima di base per l'industria e per la costruzione, così come oggi gli idrocarburi sono contemporaneamente sorgenti di energia e di calore e materie prime della petrolchimica e dell'industria delle plastiche. Ma il petrolio, come il carbone, si rinnova secondo

[1] *"Zone costiere": protezione dell'ambiente naturale e accesso del pubblico* (Gran Bretagna, Paesi Bassi, Danimarca, Svezia, Spagna, Italia, Jugoslavia, Grecia, Stati Uniti, Canada, Costa Azzurra, Aquitania), a cura di R. Bechmann, Centre "Aménagement et Nature", Paris 1967.

cadenze dell'ordine delle ere geologiche – cioè miliardi di anni – mentre il bosco, ugualmente di origine vegetale, si rinnova nello spazio di poche generazioni – almeno nel quadro di una buona gestione delle risorse naturali.

Petrolio e carbone sono delle ricchezze esauribili, che tanto più in fretta scompaiono nell'insieme del globo, quanto più sviluppati sono i mezzi di trasporto che permettono di portarle sui luoghi del consumo. Nel Medioevo, i trasporti erano più difficili; non c'era, nel campo del trasporto del legname, l'equivalente delle petroliere giganti di oggi; ma l'esistenza, nei paesi lontani, di risorse considerevoli di legname non sopperiva certo alle penurie locali nelle regioni più popolate e più sviluppate.

Le mie riflessioni sulle conseguenze di una penuria di legno mi portarono così ben presto a rilevare numerose coincidenze e correlazioni nel campo della costruzione; esse mi condussero ugualmente a ricercare le cause di questo stato di cose. Si presentava, allora, tutto il problema dello sfruttamento del suolo e della produzione delle sussistenze, e ciò obbligava a riconsiderare le questioni sollevate dall'alimentazione, dalla popolazione, dall'urbanizzazione, dalla costruzione, dal movimento delle idee, dalla crescita industriale, dal progresso delle tecniche, dagli scambi, dall'impiego... Così, mi sono trovato nell'obbligo, per tentare di afferrare tutti i legami, di stabilire in primo luogo una sorta di stato della situazione dell'epoca. Ho dato un posto quanto più possibile minimo ai fattori che non sembrano aver avuto un effetto, diretto o indiretto, sul modo di costruire; ma era un tentativo molto difficile, poiché dovevo constatare che tutto si legava in maniera inestricabile e che, se non volevo costruire sopra delle basi fragili, ero obbligato ad esaminare praticamente tutte le condizioni dell'ambiente nel quale aveva preso radice e si era sviluppata la brillante, stupefacente e breve fioritura gotica. In questo campo, numerosi ed eminenti studiosi sostenevano le mie ricerche: io mi sono appoggiato sui loro lavori e vorrei esprimere ad essi la mia riconoscenza. Conducendo la mia ricerca personale in un campo che mi era aperto dalle mie curiosità, dalle mie conoscenze e dalle mie peculiari esperienze, spero di aver dato in cambio, a questi studiosi, alcuni elementi utili al loro lavoro, di aver provocato alcune nuove riflessioni e di avere, forse, suggerito alcune vie che potrebbero permettere di spingere più lontano, attraverso una collaborazione interdisciplinare, la riflessione sui rapporti fra l'ambiente e l'architettura, non solamente per ciò che concerne l'esempio che ho scelto – cioè l'architettura gotica – ma anche riguardo ad altre architetture[2].

[2] *Gotici* e *gotico*: deve essere ben chiaro che, quando noi ci permettiamo di impiegare il termine "gotico" sostantivamente, vogliamo designare, col singolare, uno stile e un'espressione architettonica e, col plurale, quegli uomini che il gotico idearono, crearono e svilupparono – cosi come si

Grandi possibilità, materiali diversi e abbondanti, una mano d'opera qualificata e numerosa, una strumentazione considerevole e perfezionata: tali condizioni darebbero vita, da sole, all'architettura più caratteristica ed interessante, ad uno "stile". Io non lo credo affatto, e ne dà testimonianza la nostra epoca. Solo quando le difficoltà sono numerose e rendono necessaria l'ingegnosità, quando bisogna superare problemi di ogni tipo, ma anche quando un entusiasmo, una fede, una mistica spingono ad esprimersi, a creare, a costruire, solo allora viene data alla luce una vera e propria architettura, espressione di un ambiente, di un momento storico e di un popolo.

L'arte romanica, con la sua ingenuità apparente, con la sua spontaneità e la sua umanità, mi tocca più profondamente dell'arte gotica: ma tentare di comprendere perché quest'ultima sia apparsa, come si sia sostituita a quella che la precedeva, come abbia potuto toccare così rapidamente il proprio apogeo, lasciando un tale volume di realizzazioni in così pochi secoli e segnando a tal punto il paesaggio, mi è sempre apparso un enigma complesso e appassionante.

L'architettura è l'espressione di tutto un insieme di condizioni e di pressioni sociali, economiche, tecniche ed ecologiche: il genio degli architetti consiste nel trarne il miglior "partito". I critici d'arte, gli eruditi, gli storici, gli architetti e gli archivisti hanno spesso la tendenza, quando studiano un problema – ad esempio quello di trovare le condizioni e le cause di un mutamento –, di privilegiare i moventi che essi conoscono e talvolta, fra questi, di metterne in evidenza uno od alcuni di cui non si era molto parlato fino ad allora; questa tendenza, basata sulla competenza personale e talora su delle scoperte originali, è logica,

parla dei barocchi, dei classici, degli impressionisti, dei cubisti: si tratta unicamente dei capisquadra, dei "maestri" (*maîtres d'œuvres*) e dei costruttori che si espressero nello stile che la posterità ha chiamato gotico: in nessun caso il termine potrebbe applicarsi senza improprietà agli uomini di quell'epoca in generale, che non erano dei "gotici", ma dei francesi, dei borgognoni, dei normanni, degli inglesi.

Ricordiamo che si è cercato, in diverse epoche, di dare un altro nome a questa architettura, che era stata chiamata gotica in un senso peggiorativo, a causa della sufficienza e dell'incomprensione di una minoranza detta "colta" dei secoli successivi, i quali volevano considerare se stessi come un "Rinascimento", in rapporto all'epoca precedente, supposta barbara. Con un certo sciovinismo di buona lega, fra il 1870 e il 1920, alcuni hanno tentato di far prevalere il termine "stile francese", appoggiandosi su un'espressione dell'epoca (*opus francigenum*) che era stata effettivamente utilizzata. Altri hanno proposto "stile ogivale", una denominazione che ha conosciuto un certo successo, ma che caratterizza un tutto mediante un aspetto assai parziale e contribuisce, inoltre, a creare confusione sul senso del termine "ogiva". Ma, in ultima analisi, il potente ritorno di interesse che i romantici hanno contribuito a suscitare per questa architettura e per la sua epoca sembra definitivamente consacrare il termine "gotico", che noi impiegheremo nel presente studio.

umana e normale. Essa rivela sovente degli elementi utili, ma non porta ad una chiarificazione completa ed equilibrata, ad una visione globale dei fatti.

Ho cercato non tanto – sarebbe stato presuntuoso – di stabilire la parte esatta giocata dai vari fattori che condussero alla progressiva apparizione e allo sviluppo dell'architettura detta "gotica", quanto, più semplicemente, di mostrare la loro molteplicità, e le loro interazioni. Gli aspetti tecnici ed artistici non sono, in ultima analisi, che l'espressione di tutta una serie di dati, di imperativi, di necessità, di possibilità di natura molto diversa, che i costruttori seppero sfruttare per giungere alla realizzazione dei capolavori di questo "stile".

L'architettura è un'espressione dell'ambiente nel quale vivono gli uomini che la creano e dipende dalla sua evoluzione: ho quindi voluto esaminare come gli ideatori e i costruttori del XII e del XIII secolo si siano trovati di fronte a delle condizioni nuove e a delle modificazioni del loro ambiente e, per meglio rispondervi, siano passati progressivamente dai sistemi di costruzione romanici ai procedimenti gotici.

La costruzione fa appello a uomini, a conoscenze, a materiali e a tecniche; essa si colloca, insomma, entro un determinato contesto socio-economico, che comporta la presenza di promotori, coi loro mezzi finanziari, e nel quale si pone il problema delle motivazioni dei programmi da progettare.

Cerchiamo di calarci, prima di tutto, nel contesto tecnico che vide apparire le prime manifestazioni di quel fenomeno che è d'uso chiamare "l'architettura gotica". L'architettura romanica, portata in Francia al suo apogeo, derivava dall'architettura dei romani, le cui tecniche sarebbero state sviluppate dai bizantini; i musulmani, a loro volta, dovevano adottarne e perfezionarne i procedimenti, integrandoli con l'eredità di altre antiche civiltà, che essi avevano raccolto sui luoghi delle loro conquiste.

L'architettura romanica era condannata, nella sua evoluzione naturale, ad una tecnologia sempre più sapiente: architettura di paesi soleggiati, essa aveva risolto molto semplicemente il problema dei "passaggi" – in particolare quello della luce – mediante le aperture a volta che attraversavano gli spessi muri verticali necessari per reggere quelle volte massicce; le spinte continue delle volte a botte o quelle, periferiche, delle cupole dovevano essere puntellate da masse considerevoli o da contrafforti molto grossi e assai ravvicinati.

I problemi diventavano difficilmente risolvibili senza il ricorso a un tipo molto avanzato di conoscenze in geometria descrittiva e in stereotomia, se si voleva, pur conservando il rigore e le costrizioni delle volte a tutto sesto, dare una migliore illuminazione alla chiesa e alle volte stesse. Ma simili conoscenze erano, in quell'epoca, inesistenti. Neppure la soluzione delle cupole, che esigeva un minor uso di centine e di casseforme rispetto a quella delle volte a botte, poteva offrire una risposta alla ricerca di metodi semplici per risolvere i problemi della penetrazione della luce e quelli creati dall'incrociarsi di parec-

chie volte. Tuttavia, i progressi dell'industria vetraria permettevano allora di considerare, anche nei paesi freddi e piovosi, la possibilità di creare degli ampi passaggi per la luce: si presentavano delle possibilità nuove, che ponevano problemi inediti.

Nelle regioni in cui vi era abbondanza di luce, le semplici soluzioni romaniche, a base di volte a botte e di cupole, con tutte le varianti ideate dall'ingegnosità dei costruttori, rispondevano perfettamente agli obiettivi voluti, senza creare ulteriori difficoltà. È una delle ragioni per cui esse si sono mantenute nella maggior parte dei paesi mediterranei, dove il problema era più quello di ventilare che quello di illuminare. Ma nei paesi dell'Europa Occidentale e Settentrionale, dove con lo sviluppo delle città e la loro progressiva autonomia, le chiese urbane servivano non solamente al culto, ma anche a riunioni popolari e ad assemblee politiche, bisognava trovare altri mezzi per assicurare il passaggio di quella luce che lo sviluppo dell'industria vetraria rendeva possibile e che i costruttori, anche per delle chiese abbaziali dalle funzioni differenti, aspiravano ad ottenere – come testimonia l'iscrizione che Suger fece incidere a Saint-Denis. Bisognava quindi aprire le volte stesse, mediante "penetrazioni" sempre più grandi: l'esito di tali penetrazioni su volte a botte, quando le altezze sotto la chiave delle volte intersecanti sono uguali, è la volta a crociera. Nella sua forma rustica di volta di pietrisco composta da piccoli elementi, talora intonacati, la volta a crociera, che si trova già in certi monumenti romani, si è conservata per secoli nelle parti secondarie – o nei piani inferiori – di edifici di ogni stile. Ma, nelle costruzioni dove si voleva usare la pietra tagliata per motivi estetici, ma anche per ottenere un'opera di lunga durata senza esigenze di manutenzione, sicura, omogenea e, in una parola, di qualità, la volta a crociera esigeva degli ideatori e degli esecutori assai qualificati e, soprattutto, delle conoscenze matematiche ancora inesistenti in quell'epoca. Bisognava quindi, pur conservando il principio ed i vantaggi della volta a crociera, trovare una soluzione compatibile con i mezzi dei costruttori. Bisognava mettere a punto, d'altra parte, delle soluzioni tecniche più adatte al contesto urbano nel quale venivano realizzate le cattedrali[3]: queste soluzioni dovevano tener conto dei mezzi finanziari di cui si disponeva e, in particolare, dovevano essere economiche riguardo al legno – per

[3] Si ha ormai l'abitudine di parlare di "cattedrali" per designare le grandi chiese, in particolare quelle dell'epoca gotica, fra le quali le più famose, trovandosi in città importanti, sono effettivamente delle cattedrali; ma questo termine non si applica che a una certa categoria di chiese – a quelle, cioè, servite da un vescovo. E, in effetti, certe chiese sono diventate delle cattedrali – come Saint-Denis, che non ha diritto a questa denominazione che dal 1966 – ma si tratta di antiche chiese abbaziali o parrocchiali. Altre hanno cessato di essere delle cattedrali da più o meno tempo, come ad esempio le cattedrali di Apt, di Dol, di Lavaur... Littré, dopo aver dato la corretta definizione del termine "cattedrale", aggiunge, d'altra parte, che l'uso designa con questa parola "i grandi e bei monumenti dell'architettura cristiana".

le opere provvisorie come per le opere permanenti –, riguardo alla pietra – a causa delle difficoltà di ottenerla a causa del costo del trasporto – e infine riguardo alla mano d'opera, mediante un'utilizzazione razionale che tenesse conto delle sue possibilità e delle sue qualificazioni.

Ora, il programma, quale venne a poco a poco definendosi sotto la pressione dei bisogni, dei sentimenti religiosi e dello spirito di competizione, era considerevole e diventava sempre più audace: alla fine dell'epoca gotica, in Francia, vi era una chiesa ogni duecento abitanti e, nell'insieme di questi edifici, si aveva spazio abbastanza per ospitare anche più di tutta la popolazione. È stato calcolato che, in trecento anni, la Francia da sola avrebbe estratto, carreggiato e messo in opera più pietre che non l'antico Egitto in tutta la sua storia.

Questo programma, con le tecniche romaniche, non sarebbe stato realizzabile: i sistemi di costruzione adottati dai romanici avrebbero richiesto una quantità di pietre infinitamente superiore per realizzare gli stessi volumi e delle fondamenta ben più considerevoli. Non è, d'altra parte, dall'oggi al domani che la tecnologia gotica riuscì a permettere di alleggerire notevolmente la costruzione: si può seguire la spettacolare progressione di questo alleggerimento attraverso le successive realizzazioni, a partire dai primi tentativi pregotici, come la cattedrale di Durham, fino agli esiti architettonici della fine del XIII e del XIV secolo, dove l'alleggerimento raggiunge, e talvolta oltrepassa, i limiti compatibili con la stabilità, come a Beauvais. I sistemi di costruzione delle volte e dell'armatura applicati fino ad allora avrebbero d'altronde richiesto, da una parte per le centine e per il supporto provvisorio delle volte durante la costruzione, d'altra parte per l'armatura permanente, una eccessiva quantità di legni di grande dimensione, che era ormai diventato troppo costoso e quasi impossibile riuscire a procurarsi.

Insomma, perché fosse possibile questo sforzo straordinario di costruzione, erano necessarie nuove condizioni, che permettessero di consacrare a tale programma i mezzi materiali ed umani necessari.

Come tutte le fioriture architettoniche che hanno segnato il territorio, siano esse l'espansione megalitica del IV millennio prima della nostra era nell'Ovest della Francia, le manifestazioni nell'arco di mille anni dell'architettura egiziana o di quella della "mezzaluna fertile" nel Medio Oriente, il "miracolo" greco del V secolo, o le impressionanti realizzazioni dell'Impero Romano, la fioritura dell'architettura gotica fu resa possibile da un miglioramento della produttività del terreno, da una correlativa espansione demografica e da una crescita degli scambi, legata a quella della città.

Pur senza rappresentare, all'inizio, una vera e propria rottura, l'architettura gotica segnò in pochi anni, grazie alla combinazione di innumerevoli piccoli progressi, di correzioni, di invenzioni e di messe a punto, una evoluzione tecnologica considerevole: essa non avrebbe potuto aver luogo senza dei cambia-

menti preliminari e corrispondenti dell'ambiente che la vide apparire e svilupparsi. Ma le forme che riveste l'architettura non sono affatto gratuite: io penso, quindi, che si possano mostrare, fin negli stessi elementi della costruzione, gli effetti e le interdipendenze dei fattori sociologici, economici, intellettuali, religiosi e pure ecologici dell'ambiente dell'epoca.

Si può quindi, in qualche modo, rappresentare tutto questo come una sorta di ecosistema: come per tutti gli ecosistemi, è impossibile riuscire a raffigurare esaustivamente tutte le interrelazioni e a valutarne il peso rispettivo, ma è possibile ed interessante raffigurare schematicamente e sommariamente questo sistema.

I fattori idealistici, la fede, l'entusiasmo e l'aggressività ebbero una parte importante in questo grande movimento, ma la forma concreta attraverso la quale si espressero i costruttori non è mai gratuita, poiché essa traduceva sì i sentimenti e i "bisogni", che sono degli "elementi del programma", ma ricavando il miglior partito da tutte le condizioni dell'ambiente e dalle leggi naturali. Prima, quindi, di esaminare le tecniche e le soluzioni "gotiche", noi dovremo passare in rassegna le caratteristiche principali di questo ambiente e, in modo particolare, quelle che ebbero ripercussioni sulla costruzione. È da possibilità nuove, da ardite innovazioni, ma anche da ostacoli di ogni natura e da difficoltà di ogni sorta, opposte a degli uomini logici e ingegnosi, ostinati a realizzare le loro opere, che nacque lo splendore di una architettura nuova, con una geniale economia di mezzi. Essa si espresse particolarmente nella costruzione di grandi chiese, che vengono chiamate in maniera generale, più meno impropriamente, con il termine, divenuto un simbolo, di "cattedrali".

Avvertenza

Per pennettere una migliore stampa e facilitare la comprensione, abbiamo disegnato un certo numero di schizzi che riproducono, il più fedelmente possibile, miniature, frammenti di pitture, illustrazioni di manoscritti, vetrate, ecc.

I disegni, le figure e gli schizzi di cui non è stata specificata la provenienza sono dell'autore; tutte le piante di cattedrali francesi sono state disegnate sulla base del dizionario di E. Viollet le Duc.

Prima parte

L'AMBIENTE GOTICO

Il mondo della foresta

La foresta nel Medioevo

"La foresta ha costituito, attraverso i secoli, un elemento capitale dell'ambiente materiale e mentale delle società rurali"[1].

Durante tutto il Medioevo, la foresta copre una frazione considerevole del territorio dell'Europa Occidentale. Essa rappresenta un elemento fondamentale dell'economia: fornisce il combustibile per il riscaldamento come per l'industria artigianale; procura i materiali principali della costruzione, dell'artigianato, dell'utensileria, degli steccati; la cenere serve a concimare il suolo coltivabile; le scorze servono nella conceria e sono utilizzate in medicina insieme alle radici, alle foglie, ai fiori. Il principale nutrimento per il bestiame e per gli animali domestici – come anche per la selvaggina – è fornito dalla foresta. Gli uomini, infine, trovano in essa gran parte delle loro risorse alimentari: frutti e legumi selvatici, bacche, funghi, selvaggina, pesci e anche il miele, che gioca un ruolo importante in un'epoca in cui non si conosce lo zucchero. In molti casi, la coltivazione dei campi, al di fuori delle foreste o nelle radure, serve solo come complemento a questa produzione.

In molti villaggi, soprattutto nel Nord-Ovest e nel Nord-Est della Francia, sono coltivati soltanto dei giardini intorno alle case e i contadini vivono essenzialmente dei prodotti della foresta e dei fiumi. Caccia, pesca e raccolta conservano un posto di primaria importanza nell'alimentazione. Ancora nell'XI se-

[1] G. Bertrand, "Pour une histoire écologique de la France rurale", in AA.VV., *Histoire de la France rurale*, a cura di G. Duby e A. Wallon, Seuil, Paris 1975-1976, I, p. 86.

colo alcuni gruppi vivono unicamente della pesca, in particolare sulle rive della Saona e in diverse regioni dell'Inghilterra.

Alla fine del XII secolo, Alexandre Neckham, professore a Parigi, nel suo *Traité sur les outils*, enumera, fra gli utensili abituali dei contadini, gli strumenti di pesca e di caccia. La generale mancanza di sicurezza, che dura finché non hanno termine le invasioni degli ungari, dei saraceni e dei normanni, impedisce qualunque regolare sfruttamento del suolo agricolo, soprattutto in luoghi scoperti e vicini alle grandi vie naturali di penetrazione. Questo stato di insicurezza non è d'altra parte estraneo alla creazione di monasteri nei luoghi più remoti.

La foresta è anche un rifugio: quando si avvicinano degli invasori o delle bande armate, se agglomerati urbani o monasteri fortificati offrono un riparo – magari precario – pur essendo un obiettivo particolarmente invitante per i saccheggiatori, i contadini accorrono a rinforzare la difesa, portandosi dietro i propri viveri; ma, più sovente, gli abitanti delle campagne non hanno altra risorsa che rifugiarsi nelle foreste e darsi alla macchia. Ciò del resto è spesso più sicuro che rinchiudersi dentro una cinta che può essere presa d'assalto o assediata per lungo tempo e privata di ogni approvvigionamento: inoltre gli abitanti delle città, che in quest'epoca sono una minoranza, non vedono certo di buon occhio l'afflusso di paesani che garantiscono solo un mediocre appoggio militare e portano con sé delle bocche inutili da sfamare.

Datrice insieme di nutrimento e di protezione, questa foresta è molto diversa da quella che secoli di sfruttamento e di sistemazione hanno costituito e che noi consideriamo uno "spazio naturale". Interrotta da radure, da una sorta di savane, da paludi e da torbiere, talmente fitta in alcuni luoghi da formare una giungla ed in altri, invece, più rada, la foresta di quest'epoca ha dei limiti tanto più imprecisi quanto più le pratiche agricole del tempo ne modificano incessantemente lo spazio.

La parola stessa "foresta", che ha avuto più fortuna rispetto alle altre parole latine che definiscono gli spazi boschivi, come *nemus*, *saltus*, *sylva* e *boscus* (da queste due ultime sono però derivate parole francesi), ha un senso giuridico che indica un divieto ed una esclusione. Essa designa un ambito ben delimitato, all'interno delle superfici boscose imprecise e fluttuanti: in origine, questo termine si applica soltanto alle foreste reali o signorili, sulle quali pesa tutta una serie d'interdizioni destinate a preservarne il carattere boschivo e la ricchezza di selvaggina. A partire dal VII secolo esiste un "Prefetto delle Foreste Reali"[2]. In seguito, la parola assumerà un significato più generale e indicherà qualunque insieme abbastanza importante di alberi; è con questo significato che noi la utilizziamo in quest'opera.

[2] G. Huffel, *Economie forestière*, 3 vol., Laveur, Paris 1913, p. 39.

Le foreste sono il luogo normale di pastura non soltanto degli animali selvaggi, ma pure dei montoni, dei bovini, dei cavalli, dei maiali, anche se talvolta alcuni gruppi di animali sono ammessi, dopo la mietitura, negli spazi coltivati in cereali, che essi fertilizzano un poco mangiando la paglia. Ciò è reso possibile grazie a dispositivi di siepi vive e di steccati di legno – spesso stagionali – che proteggono i giardini e i campi.

La consuetudine, confermata a poco a poco oppure modificata da atti scritti, organizza lo sfruttamento delle foreste e i "diritti di uso". Poiché il pascolo degli animali nella foresta gioca un ruolo essenziale nell'economia rurale del Medioevo, i "diritti di uso" o di "percorso" hanno un'importanza considerevole, almeno uguale a quella dei "diritti al bosco", di cui si trova traccia nei testi. Più frequentemente essi sono accordati per qualunque specie di animali; talvolta, sono invece limitati al *panage*[3] (pastura dei maiali), che ha una importanza particolare. Spesso il numero di maiali da introdurre è specificato negli atti. Nel *Domesday Book* (1086), vediamo che i boschi non sono definiti in ragione della loro superficie, ma secondo il numero di maiali che possono nutrire (un bosco per 4 maiali, un bosco per 100 maiali...)[4].

In Germania[5], settembre è chiamato il "mese dei boschi", perché è il periodo dell'anno in cui le ghiande sono mature. Il maiale, che di esse soprattutto si nutre e che erra liberamente in branchi per metà selvaggi, come ancor oggi è possibile vedere in Corsica, occupa, soprattutto nel Nord, un posto importante nell'alimentazione dell'epoca.

La celebre legge salica dei franchi contiene ben sedici articoli riguardanti il furto di maiali: basta questo a far capire l'importanza di questi animali nella vita quotidiana[6].

Ma non sono soltanto i maiali a trovare il proprio nutrimento nella foresta: vi pascolano anche i bovini e i cavalli, così come i montoni. In un atto del 1171 si menziona, infatti, a proposito di una foresta, "la brughiera che le è accanto per il nutrimento delle mandrie, del bestiame grosso e dei maiali"[7]. Una modalità del diritto al pascolo è il "diritto di monta" concernente i cavalli. L'uso delle "monte selvagge" è molto antico e risale ai galli: Claudiano e Gregorio di Tours[8] vi

[3] *Ivi*, p. 77.

[4] G. Duby, *L'économie rurale et la vie des campagnes dans l'Occident Médiéval*, Aubier 1962, p. 642 [*Economia rurale nell'Europa medioevale. Francia, Inghilterra, Impero (Sec. IX-XV)*, tr. it. di J. Daniele, Laterza, Bari 1976].

[5] *Ivi*, p. 61.

[6] *Ivi*.

[7] *Ivi*, p. 648.

[8] Gregorio di Tours, Lib. VIII, cap. 40 e G. Huffel, *op. cit.*, p. 77.

fanno allusione. Questo modo di allevamento, che obbliga i proprietari ad organizzare vere e proprie cacce per catturare gli animali di cui hanno bisogno, ricorda il sistema ancora in uso presso i paesi con l'allevamento estensivo di cavalli e di bovini; i cow-boys dell'Ovest degli Stati Uniti, i rancheros argentini, i butteri della Camargue e anche alcuni proprietari della regione del Cap Corse non si comportano diversamente ai nostri giorni. Per ciò che riguarda i cavalli, questo sistema si è certamente mantenuto in Francia ben oltre il Medioevo: è per questo che Rabelais, nel XVI secolo, racconta che i cittadini, quando Gargantua si è stabilito a Parigi, mandano la sua giumenta a vivere nella foresta di Bière (ora foresta di Fontainebleau)[9].

Quanto all'uso del legname tratto dai boschi, esso è spesso limitato ai "legni morti", termine che designa i tipi di legni da ardere, il cui elenco è variabile a seconda dei luoghi e che comprende sovente dei legni (come l'acero o il frassino) che noi oggi consideriamo preziosi. Gli altri tipi di legno (*vivus nemus*), a parte gli alberi da frutta che sono ugualmente protetti, sono riservati per la costruzione e per l'artigianato (soprattutto la quercia e il faggio). I testi che regolano i diritti di uso parlano anche di parecchi altri prodotti della foresta, come il miele, le ceneri e il carbone.

Foreste che si spostano

"Subito prima della rivoluzione che doveva sconvolgere l'habitat rurale alla fine del Medioevo, una buona parte della superficie utile si trovava in uno stato intermedio fra coltura permanente e natura selvaggia. Vi erano vere foreste in luoghi spesso curiosamente differenti da quelli dei boschi attuali"[10].

Sembra che questa osservazione di G. Sautter concernente il territorio tedesco possa ugualmente applicarsi a tutta l'Europa occidentale. Così, la foresta di Brotonne, che ha una superficie di 7800 ettari, era parzialmente dissodata nell'epoca gallo-romana, come testimoniano le rovine che vi sono state ritrovate: diventò poi foresta d'Arelaunum nell'epoca merovingia, formando un solo blocco con la foresta di Montfort, e fu di nuovo dissodata dai monaci di Saint-Wandrille[11].

Un simile caso non è affatto isolato: durante i secoli molte foreste scomparvero, mentre altre apparivano o si ricostituivano. Ciò non poteva mancare di avere una importante incidenza sui prodotti derivanti dallo sfruttamento delle

[9] Rabelais, *Gargantua*, cap. XXI, p. 40 [*Gargantua e Pantagruele*, tr. it. di M. Bonfantini, Einaudi, Torino 1981].
[10] G. Sautter, in AA.VV., *Structures agraires et paysages ruraux*, Nancy 1957, p. 58.
[11] G. Huffel, *op. cit.*, p. 39.

foreste, riducendo ad esempio l'età media degli alberi. All'epoca di Filippo di Valois (1328), ebbe luogo un censimento che ci permette di fare il conto delle parrocchie e dei nuclei famigliari in Francia. Risulta che la foresta (cioè, verosimilmente, gli spazi conservati in modo permanente come boschivi) copriva ancora in quell'epoca quasi un quarto del territorio francese. Le zone coltivate avrebbero coperto 40 milioni di ettari. Ora, si valuta che in quel tempo fosse necessaria, per la sussistenza, una superficie coltivata di due ettari a testa, tenuto conto della proporzione di coltivatori in rapporto all'insieme della popolazione e dei bassi rendimenti. Si deduce anche, dal censimento del 1328, che in Francia, all'inizio del XIV secolo, vivevano circa 20 milioni di abitanti[12].

Ma, alla fine del X secolo, la popolazione è assai meno numerosa e l'area coltivata più ridotta: fra queste due date, le foreste si sono considerevolmente ritirate di fronte all'estendersi delle superfici coltivate, sia in Francia sia in tutta l'Europa Occidentale. "Sotto alcuni climi, certi terreni, quelli delle torbiere in particolare, hanno raccolto e fossilizzato nel corso dei secoli il polline emesso dalla flora circostante. Oggi sappiamo datare gli strati successivi di questi depositi, e analizzarli. Questa misurazione permette di stabilire nel corso delle età la rispettiva e mutevole proporzione dei pollini di alberi o di cespugli e dei pollini di piante coltivate"[13]. Questo studio, fatto in Germania, dimostra un costante arretramento delle foreste a partire dal IX secolo. Anche per la Francia, gli indizi e i testi concordano nell'indicare una evoluzione assai simile. In tutta l'Europa Occidentale, l'ampiezza della deforestazione obbliga, a partire dal XIII secolo, a prendere misure miranti a sviluppare nuove foreste o a ricostituire, là dove è possibile, zone un tempo boschive, tenuto conto della localizzazione della evoluzione delle colture e dei villaggi. A partire dal XIV secolo – dopo la Peste Nera che spopolò città e campagne e nel corso della guerra dei Cento Anni – si potrà constatare un notevole arretramento delle superfici coltivate; i nuovi spazi boschivi, d'altronde, non si sviluppano sempre negli stessi luoghi dove sorgevano le antiche foreste. È per questo che si produrrà, tra l'inizio e la fine del Medioevo, un vero e proprio rinnovamento delle foreste.

Ma, per quel che concerne il periodo che va dall'XI al XIII secolo, è indiscutibile che tutto concorre alla deforestazione: dall'aumento della popolazione, che implica l'accrescimento del consumo di legname, all'estensione dello spazio coltivato, dipendente dalla bassa produttività agricola, ma anche da certe pratiche di sfruttamento degli spazi boschivi, che contribuiscono alla loro modificazione e alla loro degradazione.

[12] *Ivi*, p. 142.
[13] G. Duby, *op. cit.*, p. 143.

Agricoltura e popolazione

IL RENDIMENTO DELLE COLTURE

I numerosi documenti dell'epoca carolingia costituiscono, per gli studiosi del Medioevo, una miniera di informazioni: se non sono esattamente applicabili ad un periodo posteriore di due o tre secoli, forniscono comunque, per ciò che concerne in particolare la vita rurale, degli ordini di grandezza preziosi. Il *Polyptique* dell'abate Irminon, un inventario risalente al IX secolo, indica che sulla terra di Saint-Germain-des-Prés vivevano 10.282 coltivatori su 23.400 ettari dissodati: ciò che farebbe 2,31 ettari a testa. Poiché, nel frattempo, le tecniche agricole avevano fatto qualche progresso, si può pensare che nel XII-XIII secolo due ettari a testa, in media, potessero essere sufficienti. Osserviamo, a titolo di confronto, che, all'inizio del XX secolo, la Francia veniva praticamente incontro ai bisogni di tutta la propria popolazione con meno della metà di superficie coltivata per abitante: "Ai nostri giorni" scrive Huffel nel 1913 "la Francia riesce più o meno esattamente a nutrire la propria popolazione mediante una superficie coltivata di un ettaro e dieci are per abitante"[1].

Potrebbe destare sorpresa la differenza – dopo tutto relativamente piccola – fra la superficie coltivata per abitante nel IX secolo e quella all'inizio del XX secolo. Ma la differenza di produzione media per ettaro, già molto importante all'inizio di questo secolo, è considerevole: terreni assai mediocri rendono venti volte la semente in frumento, mentre terreni buoni arrivano a rendere quaranta volte, e si seminano, su un ettaro, fino a due quintali. D'altra parte le produ-

[1] G. Huffel, *op. cit.*, p. 143.

zioni, malgrado la monocoltura, sono molto più diversificate. Nell'epoca che stiamo studiando, i cereali occupavano la grande maggioranza delle terre coltivate, mentre la patata era sconosciuta e le leguminose poco utilizzate.

Tutti gli autori rilevano i bassi rendimenti della coltivazione di cereali nel Medioevo. Quelli citati per il IX secolo, quando i documenti sono numerosi, vanno da 1,5 a 2,2[2] nel Nord della Francia, da 2 a 2,7 in altri punti del demanio reale e da 2,4 a 3,8 in alcuni buoni terreni dell'Inghilterra[3].

Bisogna notare, ovviamente, che queste cifre provengono da inventari di controllori e ispettori reali e, malgrado essi fossero senz'altro vigilanti, si deve tener conto della propensione dei contadini di qualunque epoca a nascondere prudentemente per il proprio uso personale (e anche, in periodo di penuria, per il mercato "parallelo"), una parte dei raccolti. "Il signore veniva ingannato... nulla di più facile che nascondere qualche covone", scrive Duby il quale, parlando in un altro punto dei "bovari" inglesi, annota: "Talune osservazioni dei documenti di amministrazione signorile invitano a tenere anche abbondantemente nel conto ciò che i servitori potevano nascondere"[4].

È probabile che dal IX al XIII secolo siano stati fatti progressi: gli agronomi inglesi, nel XIII secolo, parlano di tassi di rendimento del 5 per il frumento e del 7 e dell'8 per la segale e per l'orzo, ma Le Goff contesta tali cifre e stima che la regola fosse un tasso fra 3 e 4[5]. Ma ci si interessa vivamente a questi problemi in quell'epoca e sono anche pubblicati parecchi manuali di agronomia, in particolare nel XIII secolo, come il *Trattato* di Walter de Henley e quello di Roberto Grossatesta, vescovo di Lincoln – famoso anche per il suo trattato di ottica.

A partire dal XIII secolo, in ogni caso, i rendimenti migliorano, anche se rimangono molto diversi a seconda delle regioni, delle specie di cereali e delle annate. Duby cita delle terre di Artois che, all'inizio del XIV secolo, ricavavano fino a 15 per 1; ma i rendimenti superiori a 7 restano eccezionali: in Provenza, si hanno solo tassi del 3 o del 4; in Borgogna, nel XIV secolo, fra i 3,3 e i 10, secondo le annate[6]. Nei secoli successivi i progressi furono lenti: nel XVI secolo Olivier de Serres, nel suo *Théâtre d'agriculture ou mesnage des champs*, considera che le semenze, anche in terreni buoni, non fanno che quintuplicare o sestuplicare. Infine, all'inizio del XIX secolo[7], il Sottoprefetto di Marsiglia, in risposta ad una inchiesta ufficiale, dava come rendimento medio (su 10 anni) della raccolta un tasso di 4,5-5 per uno.

[2] G. Duby, *op. cit.*, p. 85.

[3] J. Le Goff, *La civilisation de l'Occident Médiéval*, Arthaud, Paris 1964, p. 260 [*La civiltà dell'Occidente medievale*, tr. it. di A. Menitoni, Einaudi, Torino 1981].

[4] G. Duby, *op. cit.*, p. 443 e 423.

[5] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 266.

[6] G. Duby, *op. cit.*, p. 186.

[7] *Ivi*, p. 189.

Bisogna collegare queste cifre con quelle delle superfici inseminate. Per il frumento, Duby cita le cifre di 2 ettolitri per ettaro – circa 1 quintale e mezzo – per dei territori della regione del Nord del Bacino parigino, e di 1 ettolitro per delle terre meno fertili.

Una delle principali caratteristiche dell'agricoltura di quest'epoca è l'estrema irregolarità nella produzione di cereali da un anno all'altro. Quando a una bassa quantità di semenza si aggiunge un cattivo rendimento, il risultato è la produzione di una scarsa quantità di frumento per ettaro. L'agricoltura del tempo esige contemporaneamente molta mano d'opera e tantissimo spazio.

Questa sovrabbondanza di spazio è dovuta anche all'imperiosa necessità di lasciar riposare a lungo la terra, a causa della mancanza di fertilizzanti, della mediocrità degli strumenti per l'aratura e anche della scarsa varietà di colture praticate, giacché l'alimentazione era basata sui cereali insieme a poche leguminose: piselli, fave e veccie. Due tipi di fertilizzanti potevano essere utilizzati nell'agricoltura del tempo: da una parte le scorie di origine animale, come il letame, da un'altra parte i concimi, soprattutto quelli di origine minerale che si estraggono dal terreno (marna, calce ecc.). Un trattato di economia rurale del XIII secolo offre giudiziosi consigli per l'utilizzazione dei letami, che allora erano poco abbondanti e male ripartiti: abbiamo già visto, in effetti, che molti animali domestici, ad esempio i cavalli ed i maiali, vivevano spesso in semilibertà nella foresta e nelle radure, nutrendosi di ciò che trovavano e senza ricevere altro cibo. Alcuni pascolavano nelle terre arabili fra gli intervalli delle colture; ma spesso i contadini erano obbligati a far pascolare le loro bestie sulle terre del signore, che potevano così avvantaggiarsi della concimazione (privilegio che gli inglesi chiamano col termine *fold*). Le ceneri erano impiegate molto frequentemente ma forse non sempre con un fine consapevole. Anche i concimi erano conosciuti, ma non entrarono nell'uso in modo sistematico e razionale se non molto più tardi: nel Medioevo, le difficoltà dei trasporti e la mancanza di denaro impedivano ai contadini di utilizzarli se non eccezionalmente e in poche circostanze favorevoli, come è il caso, ad esempio, dell'uso della polvere di conchiglie presso certe regioni costiere[8].

Si applicava dunque, generalmente, il sistema del maggese e, talvolta, del lungo maggese. Solo più tardi, nel XIV secolo, il processo della rotazione triennale viene espandendosi, parallelamente allo sviluppo di nuove colture di leguminose e di metodi più razionali di allevamento e di utilizzazione del concime animale. Il cattivo rendimento deriva anche dalla fragilità degli strumenti lavorativi: la maggior parte dei contadini lavora ancora con la zappa o con l'aratro semplice. L'aratro a ruote, già descritto da Plinio il Vecchio, sembra essere stato usato anticamente nei paesi germanici, ma non apparve in Europa Occidentale

[8] M.M. Postan, *The Medieval Economy and Society*, Penguin, London 1975.

STRUMENTI DI LEGNO

1) Forca e rastrello di legno; 2) Badile di legno, rinforzato in ferro; 3) Rastrello di legno (modello ancora in uso nel XX secolo).
(Fig. 1: da Bibl. di Besançon, XIII sec.; Fig. 2 e 3: da Speculum virginis, *fine XII sec.).*

se non nell'XI secolo. Nella medina di Fez, in Marocco, si possono veder ancor oggi dei fabbricanti e dei venditori di aratri dal modello assai simile a quello che era in uso in Europa, prima che l'aratro a ruote lo soppiantasse in tutti i paesi con scarse pendenze e con terreni lunghi. Ma l'aratro a ruote è difficile da manovrare nelle terre dissodate da poco, fra i ceppi calcinati, e non era perciò utilizzato nella coltura itinerante e nel dissodamento. Proprio a questo motivo, d'altronde, è stato attribuito il ritardo con cui, in Canada, solo nel XVII secolo venne adottato l'aratro a ruote[9]. Perché, tuttavia, un simile aratro potesse lavorare a fondo, era necessaria una grande potenza di trazione, ma il sistema di attacco che era stato in vigore fino ad allora non riusciva a permetterla. La prima raffigurazione conosciuta di un aratro a ruote, nel Medioevo, appare sul portale di San Zeno, a Verona, che risale all'XI secolo. Questo aratro è tirato da un personaggio che sembra essere una donna, aggiogata sotto le ascelle da un collare pettorale gravante sui seni. Ciò costituisce forse un volontario arcaismo, magari non sprovvisto di ironia, poiché proprio in quell'epoca si fece un progresso decisivo sostituendo appunto al collare pettorale, che impediva la respirazione della bestia, un collare da spalle. Ma non bisogna dedurne che la trazione femminile fosse la regola in quel tempo, poiché sembra che i personaggi rappresentati siano Adamo ed Eva, o i loro figli, al di fuori del Paradiso Terrestre: si può pensare che, a partire da quell'epoca leggendaria, la trazione animale si fosse sviluppata. In generale, gli aratri erano trainati da buoi o da cavalli, come si può vedere nell'arazzo di Bayeux, anch'esso dell'XI secolo.

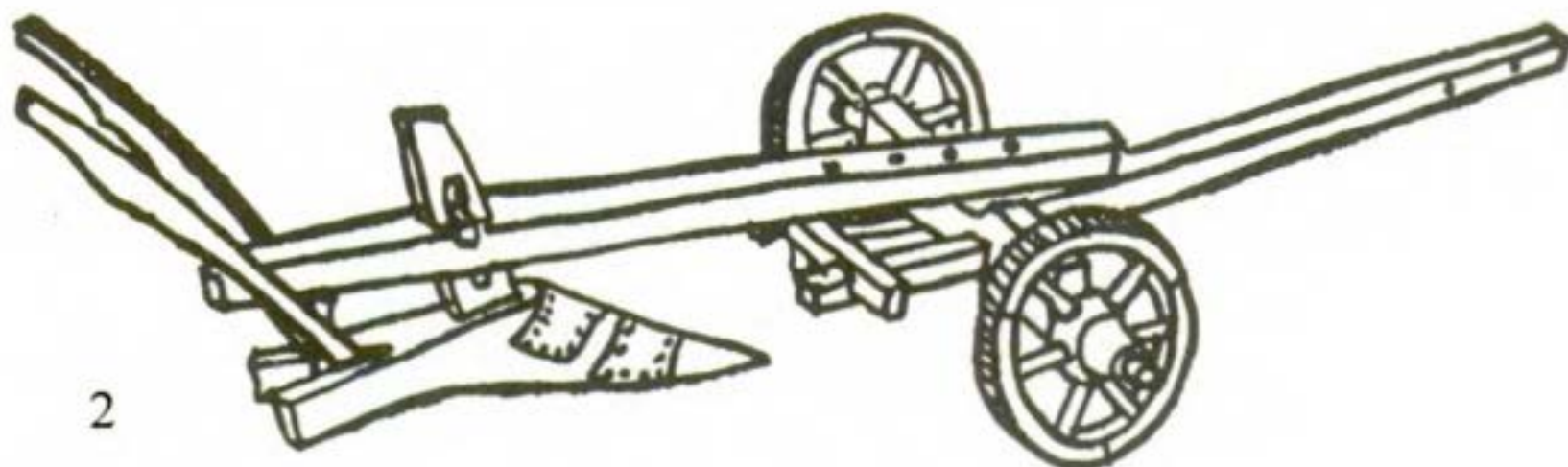
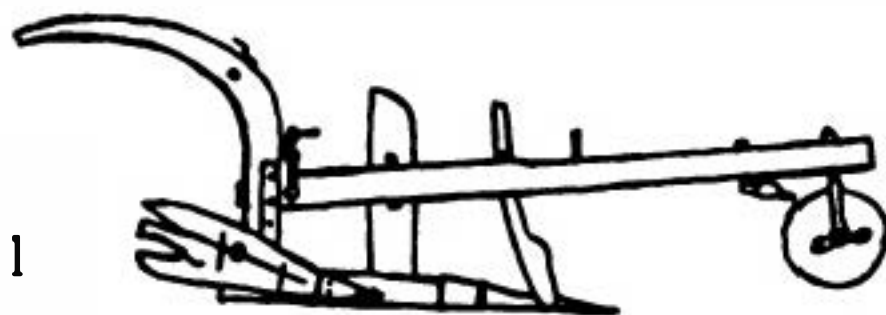
[9] R.L. Seguin, citato da G. Duby, *op. cit.*, p. 202.

STRUMENTI DI FERRO

4) Scure (monaco che dissoda); 5) Falce (il modello non è cambiato e neppure la tecnica di affilatura); 6) Falcetto (identico al tipo attuale).
(Fig. 4: da Moralia in Job, *XIII sec.; Fig. 5 e 6: da* Psautier de Bonmont, *XII sec.).*

Gli aratri che appaiono sul bassorilievo di Verona e sull'arazzo di Bayeux sono fra i più sommari: su un manoscritto del XIII secolo (*Moralia in Job*, di Gregorio il Grande), si vede uno strumento già più perfezionato; sembra assai simile a quello che si può osservare nelle successive raffigurazioni, come in quella della *Vie de Notre-Dame* di Jean Nielot (fine XV secolo). Duby osserva tuttavia, confrontando queste due immagini, che l'attacco dell'aratro è cambiato, giacché i cavalli con collari da spalle hanno sostituito i buoi attaccati per le corna. Ora, il cavallo ha un rendimento superiore del 50% a quello del bue e, se viene attaccato bene all'aratro, anche una velocità molto più elevata a parità di carico.

L'aratro a ruote era certamente di uso corrente nel XIII secolo – almeno nella Champagne – poiché il signore di Joinville, davanti ai fellah egiziani, sente il bisogno di precisare che i loro aratri sono privi di ruote: "Dopo Saint Rémy, i sette fiumi si espandono per il paese e coprono le terre. E quando si ritirano, ogni contadino va a lavorare la propria terra con un aratro senza ruote"[10]. Ma,

[10] J. Sire de Joinville, *Histoire de Saint Louis*, tr. di N. de Wailly, Firmin Didot, Paris 1874 [*Storia di S. Luigi*, tr. it. di R. Arienta, Bompiani, Milano 1944].

DALL'ARATRO SEMPLICE ALL'ARATRO A RUOTE

*Il termine aratro (*charrue*) è principalmente riservato agli strumenti dissimmetrici muniti di un versoio che sollevano la terra e la spostano di lato, rovesciandola: non rimane allora che rompere le zolle.*
*L'aratro semplice (*araire*) è invece simmetrico: scava il solco scartando la terra da una parte e dall'altra; la terra è lavorata meno efficacemente, ma è anche molto meno intenso lo sforzo richiesto all'attacco.*
*1) Aratro semplice a ruote, munito di un coltro e di un versoio rudimentale che può essere fissato da una parte o dall'altra; potrebbe già essere definito un vero aratro (*charrue*). St-Martin-de-Belleville (Savoia), XX sec. (da rivista dei C.E.M.E.A.).*
2) Aratro semplice a ruote, XIX sec. Non vi è coltro. Il vomere di legno è rafforzato con metallo (Museo di A.T.P., disegno R.B.).

3) Aratro a ruote (XIV sec.).
Il perfezionamento dell'aratro e dell'attacco permette di mettere a coltura le terre pesanti, cioè le più fertili, a condizione di poter aumentare la forza di trazione: la cooperazione e l'organizzazione rurale diventano indispensabili, giacché pochi contadini dispongono di molte bestie da traino (da Psautier de Luttrel, *1340).*

anche con le ruote, gli aratri dell'epoca, fatti di legno rafforzato con ferro, erano ben lontani dal somigliare agli aratri moderni, capaci di affrontare anche le pesanti terre argillose, che si rivelano difficili da lavorare ma che sono, tuttavia, fra le più fertili.

Gli altri strumenti erano ugualmente rudimentali: l'erpice (di cui si vede la prima raffigurazione sull'arazzo di Bayeux) entra nell'uso a partire dal XII secolo. La falciatura si fa sia con il falcetto – in modo da lasciare la paglia per il nutrimento del bestiame – sia con la falce; ma la qualità del metallo di questi strumenti, costruiti localmente, non può certo essere regolare né sufficiente; la strumentazione di legno è ancora la più frequente nel mondo rurale. Nel IX secolo anche grandi coltivazioni non possiedono che pochi strumenti di ferro, mentre la maggioranza degli utensili è di legno. Solo a partire dall'XI secolo l'utilizzazione del ferro fa progressi nell'ambito dell'uso civile.

Ma se, da una parte, per le molteplici ragioni che contribuiscono alla bassa produzione delle colture, sono necessarie, nel Medioevo, ampie superfici di terra per nutrire la popolazione, d'altra parte il numero degli addetti all'agricoltura è molto alto e le eccedenze sono poco abbondanti. Un paragone con la nostra epoca è istruttivo: nel 1969 un autore americano, Colin Clarke, stimava che negli Stati Uniti un "attivo" agricolo nutriva 60 persone; per la Francia, questa proporzione scendeva a 20. Se si calcola che si ha un "attivo" agricolo ogni tre persone che lavorano la terra, si avrebbe il 15% di rurali in Francia e il 5% negli Stati Uniti. E, secondo Gourou[11], 3 famiglie, cioè 12 persone, su un solo chilometro quadrato, oggi possono nutrire 700 persone. Ma, nel Medioevo, per nutrire 10 persone, ce ne vogliono 9 che coltivino la terra. Considerando l'ampiezza delle terre coltivabili e il numero di contadini che in quell'epoca sono necessari per arrivare a nutrire, oltre che se stessi e le proprie famiglie, le differenti categorie di persone che non lavorano la terra, noi possiamo renderci conto di quanto l'equilibrio alimentare sia precario: il minimo incidente nel ciclo della produzione, una serie di intemperie, un saccheggio, un incendio, un aumento delle bocche da sfamare, ed è subito la carestia e la fame.

LA PERMANENZA DELLE STRUTTURE RURALI

È fra l'XI e il XIII secolo, scrive Le Roy Ladurie[12], che ha luogo lo sviluppo dei grossi villaggi-tipo di 100 famiglie (500 abitanti) circa. Se si considera che

[11] P. Gourou, *Pour une géographie humaine*, Flammarion, Paris 1973, p. 176 [*Per una geografia umana*, tr. it., Mursia, Milano].

[12] E. Le Roy Ladurie, Postfazione a G. Roupnel, *Histoire de la Campagne Française*, Plon, Paris 1974².

mediamente sono necessari circa due ettari di terreno coltivato per la sussistenza di una persona, si avrebbero 1000 ettari per villaggio. Questa cifra coincide proprio con la superficie del "manso", territorio destinato normalmente allo sfruttamento famigliare (corrispondente all'inglese *hide*) che nei testi viene designato appunto come "terra famigliare"[13]. È stata messa in evidenza la notevole stabilità della sua composizione[14]; esso copriva, infatti, fra i 10 e i 12 ettari in media, dei quali una frazione era boschiva.

Facciamo un calcolo: se si ingrandisce del 10% questa superficie di 1000 ettari per tener conto degli spazi occupati dalle strade, dai fiumi, dalle costruzioni, dagli stagni e dalle paludi, e anche per tener conto della popolazione di non-coltivatori e di cittadini, si ottengono 1100 ettari; se si aggiunge inoltre un 24% del totale per le foreste (cifra corrispondente all'inventario di Filippo di Valois nel 1328), si ottiene una media generale, per villaggio, di 1450 ettari, dei quali 350 (24%) boschivi. Si viene così ad avere una rete teorica composta di villaggi mediamente distanti 4 km uno dall'altro in linea d'aria (meno di una lega), cioè un'ora circa di marcia. In una simile rete, i campi più lontani sarebbero a mezz'ora circa di cammino (un'ora, invece, secondo l'andatura dei buoi o di uomini carichi), supponendo che il villaggio si trovi più o meno al centro del proprio territorio. Si può ricordare, al proposito, che i dipartimenti creati dalla Rivoluzione del 1789 erano studiati proprio per permettere ad ogni amministrato di arrivare a cavallo al relativo capoluogo entro una giornata.

Ma proseguiamo i nostri calcoli: se si dividono i 551.000 chilometri quadrati del territorio francese attuale per il numero dei comuni, cioè 37.962 (prima dei cambiamenti effettuati nel XX secolo, durante gli anni Settanta), si arriva esattamente alla cifra di 1451 ettari. È difficile pensare che una così stupefacente coincidenza sia dovuta soltanto al caso: essa rivela la stabilità delle strutture rurali e anche il fatto che esse erano perfettamente a misura dell'uomo e delle sue possibilità. Roupnel[15] ha del resto osservato che ogni raggruppamento rurale rimane legato con grande fedeltà al quadro che esso si costituisce in origine: "I confini intercomunali corrispondono sempre a dei contorni fissati dal lavoro che liberò la terra allo sfruttamento umano... Il quadro territoriale dell'attuale comune continua ad appoggiarsi, come nei tempi primitivi, alle linee essenziali... le prime vie... i contorni del rilievo, i bordi delle antiche foreste, i corsi d'acqua".

Sono possibili, d'altronde, anche altri calcoli. Così, se si considerano 38.000 villaggi di 500 abitanti l'uno, si ottiene un totale di 19 milioni di contadini, cioè un po' meno della popolazione totale (circa 20 milioni di individui) della Fran-

[13] P. Vinogradov, *The growth of the Manor*, Newton Abbott-David and Charles, 1968.
[14] G. Roupnel, *op. cit.*, p. 292.
[15] *Ivi*, p. 74.

cia del XIII-XIV secolo. La differenza potrebbe corrispondere alla popolazione urbana. In effetti, "più o meno in tutte le regioni, la popolazione rurale rappresenta circa il 90%, spesso il 95% dell'insieme degli abitanti"[16]. Ma un'altra statistica è particolarmente interessante: il censimento del demanio reale fatto nel 1328, sotto Filippo VI di Valois, riguarda i 3/4 di questo territorio, cioè 320.000 km². Su tale superficie vengono contate 2367[17] parrocchie ed un totale di 2.469.987 nuclei famigliari, con una media – è bene osservarlo – di circa 100 nuclei famigliari per parrocchia.

Se si fa la proporzione, supponendo una identica densità media delle parrocchie, fra questi 320.000 km² e i 551.000 km² della Francia attuale, si ricava, per la superficie di questa, un totale di 38.784 parrocchie, venendo sempre a cadere, insomma, intorno a quella cifra di 38.000. Tutti questi fatti concordanti formano un insieme che non può essere il risultato del caso.

Ovviamente, però, non bisogna immaginare tutto il territorio diviso in cellule regolari, come un nido d'api: Marc Bloch, del resto, ha osservato che la superficie del "manso" è in un luogo più grande e in un altro più piccola: "Si ha l'impressione di un ordine di grandezza locale". Nelle terre più ricche, infatti, un manso copriva sempre almeno 6 ettari, ma non superava mai i 18 ettari nelle terre più povere[18].

La superficie di questo territorio familiare è dunque variabile entro certi limiti, in stretto rapporto con il contesto e con il suolo, così come varia anche, a seconda delle regioni, l'unità per misurare la coltivazione, che può essere la terra lavorabile in una giornata o lo jugero dei vigneti.

"Una realtà dove l'uomo, la sua famiglia e la sua terra sono indissolubili: ecco ciò che era alla base dello stesso concetto di superficie"[19].

Il numero di quei 37.962 comuni non è forse più, sotto diversi punti di vista, alla scala del XX secolo, epoca in cui la lega può essere percorsa in cinque minuti e s'è invertita la proporzione fra popolazione urbana e rurale. Ma se essi hanno goduto di una così sorprendente perennità è perché dipendono non soltanto dalla storia, ma anche dalla geografia e dalle esigenze umane. Sono insomma le caratteristiche e le strutture permanenti del rilievo, della geologia, dell'idrologia, dell'ecologia e del suolo stesso quelle che hanno determinato e guidato, nel corso dei secoli, gli insediamenti umani. È questa una lezione che non dovrebbe andare perduta e che si comincia a comprendere adesso, in un

[16] G. Fourquin, "Le premier Moyen Age. Le temps de la croissance. Au seuil du XIV[e] siècle", in AA.VV., *Histoire de la France Rurale*, cit., I.

[17] *Ivi*, p. 553.

[18] G. Roupnel, *op. cit.*, p. 293.

[19] E. Le Roy Ladurie, *op. cit.*, p. 358.

momento in cui la pianificazione ecologica appare come una necessità in qualunque territorio.

E il segno, la traccia, l'influenza determinante dei fattori ambientali si trovano anche nelle realtà umane che in apparenza ne sembrerebbero più lontane, come ad esempio nelle costruzioni e, in particolare, nelle costruzioni gotiche.

La popolazione e le carestie

L'eccessiva densità della popolazione negli spazi coltivati è già attestata, nel IX-X secolo, da diversi indizi e in più di una regione. In due luoghi distanti fra loro come la Catalogna e le Ardenne[20], ad esempio, si trova sovrappopolazione; in certe zone le unità fiscali, che normalmente dovevano corrispondere ad una sola famiglia e quindi ad un "manso", ne comprendevano due o più. "I dati molto approssimativi delle inchieste, se collegati con l'evidente stato di reciproco ingombro delle unità di sfruttamento, portano a concludere che quasi tutte le signorie fondiarie descritte... dovevano sopportare, in epoca carolingia, una forte popolazione contadina"[21].

La mancanza di sicurezza rallenta in modo considerevole lo sviluppo demografico, ma durante il X secolo, dopo la fine delle invasioni degli ungari e dei saraceni e la fissazione dei normanni, si constata il ritorno ad una relativa sicurezza. La guerra assumeva aspetti differenti e meno devastanti nel quadro dell'organizzazione feudale, nata dal clima di insicurezza del IX e X secolo. La popolazione ritornò a crescere; i campi furono di nuovo coltivati in modo più regolare. Ma i bassi rendimenti dell'epoca fecero sì che, in pochissimo tempo, la superficie delle terre coltivate si rivelasse insufficiente. Recenti studi di climatologia hanno permesso di sapere che, fra l'VIII e il XIII secolo, la temperatura media in Europa si alzò, mentre si ridussero le precipitazioni, così che venne ad aversi un clima favorevole ad una maggiore crescita dei cereali. Sarebbe seguito poi un periodo freddo della durata di un secolo e mezzo. Ma l'XI e il XII secolo furono comunque favorevoli allo sviluppo dell'agricoltura. È un'epoca, inoltre, in cui il regime delle campagne fu più favorevole ai contadini di quanto non lo fosse prima e di quanto non lo sarebbe stato a partire dal XIII secolo. Un tale stato di cose, che non sarebbe durato a lungo, avrà certo contribuito al forte aumento di popolazione che inizia nell'XI secolo e si conclude all'inizio del XIV: si calcola che dal 1000 al 1300 la popolazione europea sia passata da 42 a 73 milioni di individui. Gli storici non sono però tutti d'accordo sulla stima delle cifre relative alla popolazione nel Medioevo. M.M. Postan ritiene addirit-

[20] G. Duby, *op. cit.*, p. 67.
[21] *Ivi*, p. 69.

tura che il margine di errore, per ciò che concerne la stima della popolazione in Inghilterra, sia del 150%. I diversi specialisti sono comunque d'accordo nel concludere che la popolazione dell'Europa Occidentale quasi raddoppiò fra il X e il XIV secolo, mentre quella della Francia (che ne costituiva circa un terzo), fu, da sola, più che raddoppiata. La popolazione in totale, d'altronde, non sarebbe stata di molto superiore a quella dell'Impero Romano sul finire del V secolo. A partire dalla metà del XIV secolo, la Peste Nera e la guerra dei Cento Anni dovevano di nuovo ridurre considerevolmente la popolazione. Ma in ogni caso, mentre in Europa Occidentale, dalla fine del X secolo fino alla metà del XIV, la popolazione raddoppiava, l'aumento delle sussistenze restava insufficiente e sempre precaria la regolarità delle raccolte.

Per tali motivi, questa rapida crescita demografica fu accompagnata da una penuria sempre maggiore, a partire dall'XI secolo. Nel corso, infatti, di questo solo secolo, è stato possibile contare, in 73 anni, un totale di 48 annate di carestia. Possiamo conoscere, leggendo il *Cartolario* di Cluny, molti casi di poveri contadini che, obbligati dalla carestia, venivano ad offrire tutte le loro terre al monastero, alla condizione che questo si impegnasse a nutrirli in futuro.

Nel XII secolo, solamente durante il regno di Filippo Augusto, si ebbero undici carestie. Una di queste – quella del 1195 – durò ben quattro anni. "Una innumerevole quantità di gente è morta di fame", dice la *Chronique de Reims*, parlando dell'anno 1197. In Alsazia, la carestia durò tre anni, secondo la *Chronique du Thann* del 1198.

"Nell'XI e nel XII secolo", scrive Duby[22], "delle bande di affamati facevano ressa periodicamente, per avere da mangiare, alle porte dei monasteri". L'abbazia di Cluny distribuiva pasti, in tempo di Quaresima, a 16.000 individui, e i monaci di Saint-Benoît nutrivano 700 mendicanti. Il prezzo delle derrate riflette questo stato di cose: fra il terzo quarto del XII secolo e il primo quarto del XIII, infatti, il prezzo medio del grano triplicò in Inghilterra[23].

La letteratura popolare conserva la traccia della permanente paura di una carestia: nel *Roman de Renart* si possono trovare frequentissime allusioni alla mancanza di nutrimento, alla miseria, ai problemi alimentari e ai sogni di abbuffate e di crapule che ne erano il corollario: era questa la trama permanente e dolorosa della vita quotidiana, e alla luce di essa si spiega il posto che occupano, nel folklore e nell'agiografia, i miti di gozzoviglie straordinarie, le pesche e le cacce eccezionali, i miracoli relativi alla moltiplicazione dei pani, e via dicendo[24].

[22] *Ivi*, p. 216.
[23] *Ivi*, p. 233.
[24] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 290.

Come accade nei nostri tempi in India, dove si muore di fame mentre vengono fabbricate bombe atomiche e gli eredi dei Maharaja vivono nel lusso più inaudito, il Medioevo occidentale mescola, in certi momenti, la più nera miseria fisiologica di larghe frazioni della popolazione con formidabili costruzioni militari, con forti investimenti negli armamenti, sia d'attacco sia di difesa, e nelle spese di nutrizione per gli uomini di guerra, e infine con il lusso, le feste e lo sperpero di una minoranza di privilegiati. Ora, nella nostra epoca, sia i mezzi di trasporto, sia lo sviluppo degli scambi internazionali permettono di ovviare, entro certi limiti, alla miseria: non vi erano le stesse possibilità del XIII secolo.

Poiché il pane, nel Medioevo, costituiva la base dell'alimentazione, i cereali – dopo il XIII secolo progressivamente sostituiti dalle leguminose – erano la parte essenziale delle colture. Abbiamo visto che in quell'epoca erano necessari circa 2 ettari a testa per nutrire gli abitanti. Ora, giacché il rendimento della semenza, per quel che riguarda il frumento, poteva variare tra 2,5 e 4,5 su 2 ettari (sui quali si seminava da 1 a 2 ettolitri per ettaro), era possibile raccogliere fra i 5 e i 18 ettolitri, ossia, levando la semenza (da 2 a 4 ettolitri), dai 3 ai 14 ettolitri. Con ciò si aveva una media, per persona e per giorno, di 0,8 litri nel caso meno favorevole e di 3,8 litri nei casi migliori. Ma una parte, forse la metà, di quei 2 ettari a testa, non era coltivata a cereali, sia per il gioco dei maggesi e delle rotazioni, sia per le coltivazioni primaverili o degli altri legumi: di conseguenza, le quantità di frumento di cui gli abitanti disponevano normalmente potevano variare, e seconda del rendimento, fra 0,4 e 1,9 litri per giorno. Questa cifra concorda con le indicazioni che possediamo[25] sui consumi di una famiglia genovese di 10 persone: 19 tonnellate di grano in 3 anni e mezzo, cioè un po' meno di un litro e mezzo per giorno e per persona: è normale che questa cifra si collochi ai livelli alti delle possibilità numeriche che abbiamo calcolato sulla base della produzione, giacché si tratta di una famiglia di cittadini e mercanti, che fruivano certamente di una alimentazione più varia, più ricca e più abbondante rispetto a quella che era la norma fra i contadini francesi dell'epoca.

Diamo due cifre a titolo di paragone: da una parte, durante la guerra del '39-'45 in Francia, il razionamento, nel 1942, accordava alla categoria più favorita, i "J3", 450 grammi di pane per giorno e per persona, in un'epoca in cui il nutrimento era più diversificato, ma tendeva a mancare; da un'altra parte, nel Canada, cioè uno dei paesi dove si consumano più cereali, si calcolava, prima dell'ultima guerra, un totale di 35-40 moggi di grano (400-500 litri) per persona e per anno, cioè fra 1,1 e 1,4 litri per persona e per giorno. Ritroviamo di nuovo degli ordini di grandezza analoghi a quelli che abbiamo rilevato.

Per colpa della scarsa varietà dell'alimentazione, se nel Medioevo veniva a mancare il grano, era subito la fame. Il commercio dei prodotti alimentari di

[25] Heers citato da G. Duby, *op. cit.*, p. 141.

base era ancora molto ridotto, per diverse ragioni: bassi rendimenti della coltura, mancanza di sicurezza nelle strade, pedaggi, difetto di trasporti, problemi di stoccaggio e di conservazione del grano, molteplicità di monete, estrema povertà, in denaro contante, dei contadini ecc. Si conoscono alcuni casi in cui le autorità riuscirono a combattere delle carestie importando grano oppure aprendo i granai di coloro che ne avevano ammassato. Così, nel 1025, il vescovo di Paderborn fa comprare del frumento a Colonia, lo fa trasportare per via d'acqua e lo distribuisce nei paesi[26]. Carlo il Buono di Fiandra, nel 1125, fa distribuire al popolo le riserve di grano importate per mare dal Mezzogiorno. La carestia in Germania, nel 1217, viene combattuta grazie all'importazione di grano dai territori orientali appena conquistati[27]. Ma simili interventi restano eccezionali ed escono sempre dal quadro del normale processo commerciale per entrare in quello della carità e dell'assistenza.

Era necessario, per la massa della popolazione, trovare il nutrimento nelle immediate vicinanze: diventava perciò una questione di vita o di morte aumentare la superficie dei terreni coltivati; ma questo non poteva esser fatto che a spese delle foreste – sovente, del resto, attraverso una mera riutilizzazione di terre che già al tempo dell'Impero Romano erano state coltivate – e in taluni casi strappando terreno alle paludi o al mare. "Si può capire, in tali condizioni, come il dissodamento, la creazione di nuove colture... sia stata la grande preoccupazione degli uomini fra l'XI e il XIII secolo"[28].

[26] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 296.
[27] G. Duby, *op. cit.*, p. 217.
[28] G. Huffel, *op. cit.*, p. 137.

L'attacco alle foreste

I RELIGIOSI E LE FORESTE

A poco a poco le superfici coltivate vanno estendendosi a spese dei boschi; si sviluppano sempre più campi dove i contadini coltivano i cereali, tradizionale fondamento dell'alimentazione, e là dove è possibile – anche in zone che adesso consideriamo non adatte a questa coltura – si piantano vigneti. Insieme a certi legumi, come i piselli, le veccie o le fave, che vengono considerati un buon complemento del pane, si coltivano anche delle radici: e gli eremiti sono glorificati perché di esse soltanto si accontentano... Il termine "radice", in effetti, designava verosimilmente –come ancora oggi a Lione e in certe regioni della Francia– quei legumi che hanno la parte commestibile interrata –come ad esempio le carote, di cui adesso siamo golosi – e non invece, più particolarmente, le parti interrate degli alberi, come ci si immagina con commiserazione pensando alla vita di quei poveri eremiti. Non bisogna poi dimenticare che alimenti nobili erano considerati il pane, la cacciagione, la carne, il vino, mentre i legumi erano disprezzati e lasciati alle bestie, ai contadini e, appunto, agli eremiti, che consideravano il nutrirsene come una mortificazione supplementare. Sia nei tributi in natura che dovevano pagare i contadini, sia nelle remunerazioni che venivano attribuite ai lavoratori, si trova la menzione di montoni, polli, maiali, oche, vino, miele, birra, formaggi, uova, cereali, mai di legumi. Ma quei poveri eremiti che si nutrivano di carote sono, nel X e nell'XI secolo, i primi effettivi dissodatori: G. Duby, il quale sostiene che essi "furono i soli uomini di Dio che abbiano partecipato efficacemente all'attacco delle zone incolte"[1], rifiuta l'opi-

[1] G. Duby, *op. cit.*, p. 147.

nione corrente che attribuisce ai monaci la spinta iniziale ai dissodamenti. Gli ordini religiosi, in un primo momento ed entro certi limiti, avrebbero protetto contro i dissodatori le foreste nelle quali erano insediati, al fine di conservare il proprio isolamento, preferendo dedicarsi all'allevamento piuttosto che all'agricoltura[2]. Inoltre, se è vero che, nel momento della fondazione di certi ordini, il lavoro manuale viene affermato e imposto dalla Regola, accade a poco a poco che i buoni monaci si stanchino di questo ritorno alla terra, smettano di coltivare con le proprie mani e lascino tutta la fatica del lavoro a degli "ospiti" o a dei "fratelli conversi", giacché la Regola impedisce loro di avere dei servitori. Ciò risulta ancora più facile in quanto i monaci dispongono di molti beni e di molte terre ricevute per donazione: altre, sovente, ne acquistano essi stessi. Tali terre sono spesso "guarnite" (si dice anche "vestite") di contadini, che le coltivano e pagano tributi in natura al monastero, diventato loro signore. In tempo di carestia, d'altra parte, accade sovente di vedere dei contadini poveri andare ad offrire le proprie terre ai monaci, in cambio di nutrimento per sé e per le proprie famiglie, vita natural durante; se la loro offerta era accolta, essi entravano alla dipendenza dei monaci e aumentavano così le scorte umane e il patrimonio fondiario del monastero.

Lo sforzo di dissodamento per guadagnare nuove terre alla coltivazione, prima ancora sporadico, diventa notevole in particolare nel XIII secolo, a tutto detrimento della superficie delle foreste. Questo sviluppo è reso possibile soprattutto dall'utilizzazione di strumenti in ferro.

Se gli eremiti sembrano essere stati i primi veri dissodatori ai confini delle foreste europee[3], è sovente proprio nel cuore stesso di queste foreste che i monaci si installano per crearvi i loro monasteri. All'inizio, essi dissodano soltanto ciò che è loro strettamente necessario per vivere e che possono coltivare da soli, tenuto conto delle molteplici risorse alimentari offerte dalle foreste. Ma ogni membro della comunità può partecipare al lavoro dei campi e della foresta senza il carico di una famiglia, senza dover produrre per altri e senza vedersi richiedere pesanti contributi, come accadeva invece ai contadini, la cui produzione doveva nutrire non soltanto le rispettive famiglie, ma tutto il resto della popolazione. Avendo dovuto io stesso, durante l'ultima guerra, nutrire due persone con i 3/4 del prodotto delle mie proprie colture, posso testimoniare che, su un terreno a medio rendimento, sono sufficienti poche ore al giorno per ottenere, artigianalmente, il nutrimento essenziale: ci si può mantenere in vita anche dedicando più della metà del proprio tempo alla preghiera. Ma, a poco a poco, i monaci si abituarono a un'esistenza più confortevole, a un certo lusso, a un più abbondante nutrimento e così, da un'economia chiusa ed autarchica, pas-

[2] G. Roupnel, *op. cit.*, p. 106.
[3] G. Duby, *op. cit.*, p. 147.

sarono allo stadio di consumatori. In tal modo andarono le cose nell'Ordine di san Benedetto: i primi benedettini dissodavano la foresta con le proprie mani, ma poi, divenuti ricchi e grossi proprietari, i monaci smisero di lavorare; avevano degli "ospiti" al loro servizio, cioè delle famiglie di concessionari, e acquistavano addirittura una parte del proprio nutrimento. L'abbazia di Cluny, verso il 1100, spendeva infatti più di 1000 franchi ogni anno per acquistare del grano[4]. A più riprese grandi personalità tentarono di riformare gli ordini religiosi, facendo tornare in onore il lavoro manuale e condannando l'amore del guadagno e della proprietà. Quando Robert de Molesmes, nel 1097, riformò l'Ordine di san Benedetto e fondò Cîteaux, volle tornare alla regola primitiva: i Cistercensi si videro proibito il possesso di beni immobili che non fossero le abitazioni, le terre coltivate e i boschi strettamente necessari. Ma presto si cessò di nuovo di applicare la Regola, al punto che, meno di cento anni dopo la fondazione dell'Ordine, il Capitolo Generale dovette vietare nuovi acquisti, "l'amore della proprietà essendo diventato una piaga". Ma non se ne fece niente, e l'interdizione fu addirittura abrogata nel 1215[5].

Ora, per dare degli esempi, vi sarebbero stati in Europa circa 2000 monasteri (dei quali 1900 in Francia) soltanto dell'ordine di Cluny. La casa madre, cioè l'abbazia di Cluny, ricevette, dal X al XIV secolo, più di 5300 donazioni, delle quali 3100 nel periodo fra il 948 il 1109. Clairvaux, abbazia principale dell'Ordine di Cîteaux, ricevette 210 donazioni dal 1121 al 1163 e circa 1000 dal 1164 al 1201; questa abbazia possedeva, nel XV secolo, più di 4000 ettari di foreste nelle diocesi di Autun, Chalons e Besançon[6].

Nell'XI e XIII secolo nascono dei nuovi ordini monastici che, come i Certosini e i Premonstrati, divengono anch'essi grandi proprietari di foreste, dalle quali riescono a ricavare fortissimi guadagni, soprattutto popolandole di coltivatori. In seguito, l'aumento del costo del legname spinge i monaci a sfruttare direttamente le foreste. Ma se essi possono concedere delle zone da dissodare ai coltivatori, arrivano però anche, dopo un acquisto o una donazione, ad espellere i contadini dalle loro case e dai loro campi per installarvi dei "granai" abitati da fratelli conversi, non esitando a passare così allo sfruttamento diretto delle terre coltivate e all'esproprio dei contadini che le possedevano.

In margine a un manoscritto del monaco benedettino Orderic Vitalis, scritto nel 1133, l'arcidiacono di Oxford, Walter Map, scriveva nel 1181, con un "humour" già tutto britannico, che i monaci, per le loro residenze, "trovavano dei luoghi deserti o, in mancanza di essi, li creavano"[7]. E, secondo Duby, che ne

[4] *Ivi*, p. 225.
[5] G. Huffel, *op. cit.*, p. 61
[6] *Ivi*.
[7] C. Brooke, *The twelth century Renaissance*, Thames & Hudson, London 1969, p. 134.

cita parecchi, gli esempi non mancano certo: "Verso il 1090 il Procuratore dell'abbazia di Cluny riuscì ad acquistare tutta la terra di un villaggio, che i proprietari fondiari nobili e contadini gli vendettero molto caro; dopo avere espulso gli abitanti, come del resto facevano molto sovente, i religiosi vi crearono un granaio"[8]. Duby riferisce anche che, nel 1159, il vescovo di Spira comprava e regalava al monastero di Maulbronn il villaggio di Eilfingen, ne "allontanava" gli abitanti e i coltivatori e incaricava i fratelli conversi di lavorare i campi[9].

I fratelli conversi erano dei religiosi reclutati fra i contadini: "essi formavano con i monaci un medesimo gruppo di fratelli. Ma, privi di istruzione com'erano, vivendo a parte, costretti a degli esercizi liturgici assai semplificati che lasciavano loro molto tempo disponibile, essi effettuavano nei granai i lavori più pesanti"[10]. Queste disposizioni erano caratteristiche delle nuove comunità religiose, ma i benedettini di antica osservanza le adottarono anch'essi nel XII secolo. Creando in tal modo dei monaci di "secondo grado", gli ordini monastici ovviavano alle difficoltà derivanti dalla disaffezione e dalla incompetenza per il lavoro manuale dei monaci "intellettuali". Reclutando specialisti nelle differenti attività necessarie alla vita autarchica e addirittura alla gestione commerciale di una comunità, i monaci potevano evitare le frequenti controversie che avrebbero avuto con coltivatori che non erano più servi: essi riuscivano così a valorizzare i propri terreni in una maniera più razionale e più redditizia, senza doversi preoccupare di fittavoli che, pur conducendo un'esistenza miserabile, avrebbero tuttavia consumato, insieme alle rispettive famiglie, una parte della produzione.

Avveduti amministratori e organizzatori, i monaci cistercensi sono considerati, in quest'epoca, non solo dei contadini e degli allevatori competenti, ma anche degli specialisti della bonifica e della riconquista di terre paludose. Essi intervengono in particolare nella Borgogna e più tardi, chiamati dal papa, in Italia. L'allevamento, in questi casi, dava un aiuto inatteso: poiché le zanzare, infatti, erano attirate – dettaglio interessante – più dal bestiame che dagli uomini, si diceva che gli animali spostassero su di sé gli insetti portatori di malaria[11].

Affrontando direttamente i problemi di produzione e di rendita e subendo la difficoltà di reperire mano d'opera, i monaci si sforzano di economizzare su questa e ricorrono alle sorgenti di energia allora disponibili, cioè, senza contare l'energia calorifica del legname, già da tempo utilizzata in artigianato, essen-

[8] G. Duby, *op. cit.*, p. 418.
[9] Franz citato da G. Duby, *op. cit.*, p. 649.
[10] *Ivi*, p. 422.
[11] G. Roupnel, *op. cit.*, p. 104.

zialmente all'energia idraulica. Essi contribuiscono in tal modo, per una parte molto importante, al progresso della tecnica, grazie soprattutto alla loro possibilità di disporre dei capitali necessari agli investimenti. Fu anche questo progresso, secondo la stessa opinione dei contemporanei, una delle cause della deforestazione, sia attraverso il perfezionamento delle tecniche di segatura, sia a seguito della più forte domanda di combustibile che derivò dallo sviluppo di certe industrie, come quelle metallurgiche o vetrarie.

A partire dall'inizio del XIII secolo, in Francia come in Germania, i monasteri degli ordini fondati sul lavoro, che non riescono più a reclutare un numero sufficiente di fratelli conversi, ritornano al sistema delle concessioni, essendo sempre alta, dato l'aumento della popolazione, la richiesta di terre da coltivare.

I monaci praticano allora il sistema dei "censamenti" (*acensements*): concedono, cioè, generalmente in perpetuo, delle parti di foresta a contadini che le dissodano e coltivano pagando un "censo", un tributo, che all'epoca veniva considerato moderato rispetto a quello preteso dai signori. Ma, sempre più sovente, le concessioni vengono fatte in grande e non più soltanto a singoli: si formano dei veri e propri villaggi di censuari, che spesso diventano nuove parrocchie. Si possono citare, come esempio, più di 20 villaggi[12], fondati, nel XIII secolo, nelle grandi foreste della Normandia, o anche, nella foresta di Eu, le parrocchie di Realcamp, Audignemont e Richemont. Nella foresta dell'abbazia di Marmoutier, in Alsazia (adesso il Kreuzwald), viene fondata la comunità di Kreuzfeld, vicino a Otterweiler. Nella foresta di Breteuil, i monaci di Royaumont da una parte e i religiosi di Menduisson da un'altra donano a censo delle parti del bosco a contadini dissodatori. Accade lo stesso intorno alla maggior parte dei monasteri, che incessantemente si arricchiscono di nuove terre, in seguito a donazioni o ad acquisti, e ne concedono buona parte a dei dissodatori. In tal modo, ora più ora meno a seconda dei casi, direttamente o indirettamente, gli Ordini monastici, che pure avevano protetto alcune volte, per desiderio di isolamento, le foreste circostanti, contribuiscono per una certa parte alla deforestazione.

Ma questo movimento, imposto dalla necessità di produrre per vivere, si estende principalmente a causa del desiderio di profitto degli altri grandi proprietari terrieri dell'epoca. Da parte loro, infatti, i signori laici, soprattutto dopo le prime crociate, durante le quali si erano avvicinati ai quadri superiori della feudalità e avevano potuto conoscere civiltà differenti e raffinate, si rendono conto che, pur senza rinunciare ad utilizzare le proprie foreste per scopi di piacere, in particolare per la caccia, ne possono anche ricavare un profitto, mediante canoni o tributi, concedendone alcuni settori ai coltivatori.

[12] G. Huffel, *op. cit.*, p. 138.

La storia, così come ci si presenta, è spesso falsata dall'abbondanza o dalla rarità dei documenti, giacché si è portati ad attribuire una maggiore importanza a quei periodi, a quelle regioni o a quelle frazioni della società su cui sono disponibili più dati, deformando così la visione della realtà.

Così, ad esempio, si hanno più informazioni sui dissodamenti avvenuti intorno ai monasteri perché i monaci tenevano una contabilità, a differenza della maggior parte dei signori laici che, da questo punto di vista, erano male organizzati e, spesso, addirittura analfabeti. Allo stesso modo, si conoscono molto meglio le grandi imprese di colonizzazione che non i molteplici e modesti sforzi dei dissodatori semiclandestini i quali, un po' dappertutto, lavoravano le foreste, approfittando della mancanza di sorveglianza o dell'assenza del signore. Questo processo costituì certamente il caso più generale durante il X e l'XI secolo. Non riuscendo a impedirlo, e rendendosi conto del profitto che potevano ricavarne, i signori se ne fecero i promotori. Ma una volta diventato regolare, questo processo obbligava a stendere degli atti, a riunire dei capitali, a fare della pubblicità, a stabilire dei contratti; quanto alle imprese a grande scala, esse non potevano svilupparsi senza la partecipazione dei signori importanti. Proprio per questo sono rimaste tracce scritte di una tale attività. Ma è certo, comunque, che i dissodamenti, i quali sembravano ad alcuni storici aver raggiunto l'apogeo nell'epoca in cui i signori partecipavano alla loro organizzazione, erano già molto rilevanti ben prima di diventare sistematici e di invadere i testi del tempo.

In quel periodo, i signori e i loro agenti si limitarono a ignorare o a tollerare le pazienti conquiste dei contadini nelle foreste. Esse poterono avvenire in parte attraverso un progressivo allargamento dei campi coltivati, spesso discreto e addirittura operato all'insaputa dei signori. Si possono trovare, grazie alla microtoponimia[13], le tracce di queste azioni: Duby cita dei nomi di campi o di quartieri che evocano sia il dissodamento stesso (*les essarts*, *artigue vieille*, *les plans*), sia la vegetazione primitiva e selvaggia che si riuscì a vincere (*les brosses*, *les vernes*). Indicazioni concordanti sono fornite in modo indiretto da certi documenti, che rivelano l'aumento del volume dei canoni ai quali erano soggetti i campi coltivati o anche la frequenza delle azioni legali intentate dalle comunità dei villaggi contro i dissodatori. Si vede così che la superficie delle terre coltivate arriva talvolta a raddoppiare nel corso di cento anni.

Gli indizi messi in luce da G. Duby, ad esempio nella regione intorno al fiume Saona e sulle colline del Beaujolais, gli fanno pensare che l'attacco alle foreste

[13] G. Duby, *op. cit.*, p. 149.

sia iniziato nella seconda metà del X secolo e sia andato intensificandosi nei secoli successivi.

Nel 1100, in Fiandra, si cominciavano a prosciugare le paludi. In Inghilterra, benché nel *Domesday Book* siano ancora rare le allusioni a territori disboscati, taluni fatti, come l'assottigliamento in certi manieri, fra il 1066 e il 1086, delle mandrie dei maiali, possono essere interpretati come testimonianze di una regressione degli spazi boschivi.

Ma solo nel XII secolo vanno moltiplicandosi le testimonianze, fino a rivelare "un'attività insieme più intensa e più coordinata"[14]. È il momento in cui le città del Nord Italia iniziano lo sfruttamento del "contado", in cui il drenaggio apre alla coltivazione la *Villafranca*, vicino a Verona, e in cui Enrico Plantageneto fa consolidare gli argini lungo la Loira, per mettere a coltura le terre circostanti (le "turcies")[15]. È in quest'epoca che si riscontra, secondo le analisi di pollini effettuate in Germania, la più grande estensione delle colture cerealicole del Mecklemburg. Si possono distinguere, nel corso dei dissodamenti, due periodi successivi: "uno in cui i signori semplicemente tollerarono e autorizzarono, a malincuore, le prime conquiste. Poi, un secondo in cui assunsero essi stessi la direzione della battaglia, sia estendendo la parte lavorata delle loro stesse proprietà, sia facendo venire dei nuovi coloni"[16].

È allora l'epoca dei promotori e dei lottizzatori. I cavalieri, che vengono descritti[17] come "privi di qualunque desiderio di guadagno e di accrescimento delle proprie rendite fondiarie", videro subito il vantaggio che avevano nel rinunciare a una parte dei piaceri della caccia, per insediare dei dissodatori nelle proprie foreste. "La volontà speculativa dei signori che decisero di prelevare dal loro tesoro un poco di metallo prezioso al fine di accrescere il numero dei loro soggetti e di rendere così più redditizi i loro futuri guadagni, aprì dunque questa seconda fase del dissodamento"[18].

Questa fase è quella dei nuovi villaggi impiantati in zone ancora relativamente deserte – boscose, paludose, lungo il mare – nelle quali gli abitanti erano attirati da vantaggi e esenzioni particolari che accordavano loro i grandi proprietari terrieri. Questi privilegi erano del resto concessi a malincuore, poiché erano il solo modo di attirare i coloni; ma non appena lo poterono, i signori tentarono di annullarli e, a seguito di numerosi processi di cui si trova traccia negli archivi dei secoli successivi, riuscirono in molti casi a ridurre i diritti dei contadini[19].

[14] *Ivi*, p. 145.
[15] R. Dion, *Histoire des levées de la Loire*, Paris 1961, p. 123.
[16] G. Duby, *op. cit.*, p. 149.
[17] *Ivi*, p. 148.
[18] *Ivi*, p. 160.
[19] G. Huffel, *op. cit.*, p. 134.

Le crociate, allontanando dalle loro terre un gran numero di signori feudali, contribuirono a far sì che molti di essi si liberassero dal problema di sfruttare direttamente le proprietà e addirittura vendessero alcune terre per poter acquistare l'occorrente per il viaggio. A poco a poco si vede che i prelevamenti in natura vengono progressivamente sostituiti da imposizioni in moneta contante, mentre vanno moltiplicandosi gli atti che precisano i diritti e i doveri delle parti e che mettono ordine in una situazione dove i prelevamenti erano più o meno arbitrari o retti da usanze soggette a discussione. Le comunità monastiche ed i signori, concedendo così, più o meno di buon grado e per diverse ragioni, ma essenzialmente per aumentare i profitti e semplificare la gestione, dei privilegi e una certa ampiezza di autogestione ai rispettivi contadini, finivano con il contribuire a dar loro il senso della responsabilità, il gusto dell'autonomia e di una certa libertà e l'abitudine alle decisioni collettive. Anche in campagna, insomma, si andava facendo quell'apprendistato alla vita collettiva e autonoma che doveva poi svilupparsi nelle città.

Anche i progressi tecnici, come quelli concernenti l'aratro che, perfezionato, più efficace e in grado di scavare la terra più in profondità, richiedeva un tiro di parecchi animali, obbligavano i contadini, già abituati a pratiche come la rotazione delle colture, l'irrigazione o la coltura itinerante nella foresta, a mettersi a lavorare di concerto, a cooperare e quindi a creare delle strutture decisionali comuni.

Le modificazioni strutturali delle foreste

Ma se, da una parte, molte foreste venivano riducendosi in superficie a vantaggio dei campi coltivati, i procedimenti di coltivazione del tempo finivano, d'altra parte, col modificare la stessa composizione delle foreste rimanenti. L'agricoltura estensiva, detta "itinerante", era infatti ancora abitualmente praticata in quell'epoca: essa consisteva nel sottoporre a coltivazione una parte di bosco e poi nel lasciare, spesso per la durata di una ventina d'anni, che si ricostituisse la copertura boschiva, mentre nel frattempo si procedeva al dissodamento di altre zone. È un vecchio procedimento, che viene così descritto da Roupnel: "Una certa superficie, calcolata secondo i bisogni della popolazione, veniva periodicamente bruciata. Questa terra, spogliata dagli alberi e fertilizzata dalle ceneri, era poi sottoposta a coltivazione. Una volta fatto il raccolto, la si abbandonava alla vegetazione naturale e così la foresta ne riprendeva progressivamente il possesso. L'anno dopo, toccava ad una superficie vicina subire il disboscamento ed essere coltivata, per essere subito dopo restituita anch'essa alla foresta. Il territorio agrario veniva così ad essere un settore sempre nuovo del terreno, che percorreva l'orizzonte intorno al villaggio. Dopo un periodo di circa

venti anni, il giro dell'orizzonte era concluso e si ricominciava allora una nuova rotazione, che dava alla coltura, successivamente e nel loro ordine immutabile, tutti gli antichi settori abbandonati che la foresta aveva avuto il tempo di riconquistare, formando di nuovo un humus fertile"[20].

Le Goff, che ascrive l'agricoltura itinerante fra le cause principali del disboscamento nell'XI e nel XII secolo, ricorda, al proposito, che, nel 1116, gli abitanti di un villaggio dell'Ile-de-France ricevettero l'autorizzazione a dissodare alcuni settori di una foresta reale, ma a condizione che li coltivassero raccogliendone i frutti per due mesi soltanto e si spostassero poi in altre parti della foresta[21].

Perros e Fourquin stimano che un'agricoltura estensiva che utilizzasse il maggese e il dissodamento poteva ottenere un rendimento più rapido delle terre redditizie, con un numero sempre più grande di terre, ma che ciò veniva ad essere un circolo vizioso, giacché questa utilizzazione del maggese riduceva le possibilità dell'allevamento all'aria aperta nelle radure e non era compatibile con l'accrescimento del bestiame.

"Ma i dissodamenti, soprattutto il debbio, divoratori di 'terra guasta', prostravano i terreni e, soprattutto, distruggevano questa ricchezza in apparenza illimitata nel mondo medievale: il bosco"[22].

Tuttavia, gli uomini del tempo non tardarono ad incontrare dei fattori limitanti, per quel che concerneva i vantaggi dei dissodamenti: senza contare, infatti, i problemi di rinnovamento del capitale legnoso, molte superfici boschive, una volta convertite alla coltura, si rivelavano di un rendimento assai basso. Le mandrie, tolte per la maggior parte dell'anno dalle radure, diventate ormai campi coltivati, non potevano più trovare un'alimentazione regolare e causavano danni nel sottobosco, contribuendo a impedire il rinnovamento degli alberi. Un po' dovunque, il ritmo dei disboscamenti si riduce. Perros e Fourquin, che segnalano questa diminuzione nel corso del XIII secolo e in particolare dopo il 1250 in Alta Provenza, spiegano che le ultime terre dissodate venivano considerate "repellenti".

Così, dall'XI al XIV secolo, non soltanto le foreste si riducevano come una pelle di zigrino, ma, a causa di questo particolare processo di sfruttamento, le foreste normalmente composte di alberi di qualunque età, che era possibile sfruttare utilizzandoli razionalmente secondo le diverse e varie tecniche del tempo, venivano a poco a poco sostituite da boschi cedui, composti unicamente da piante giovani e di piccole dimensioni. Era la piramide delle età degli alberi a trovarsi in tal modo profondamente modificata. Se il legname poteva ancora

[20] G. Roupnel, *op. cit.*, p. 122.
[21] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 265.
[22] *Ivi*, p. 304.

essere usato come combustibile (legnatico), come cenere, come materiale per l'artigianato e per la confezione di strumenti, di steccati divisori e di canestri e infine anche come carbone di legna (essenziale per l'industria dei metalli), esso non costituiva più una sorgente sufficiente di materiali per la costruzione, poiché i grandi alberi diventavano sempre più rari con la scomparsa delle fustaie. Ora, fino al XIII secolo, la maggior parte delle case erano di legno e la domanda di questo materiale era tanto più alta quanto meno probabile era la durata nel tempo delle costruzioni: senza neppure tener conto delle guerre, degli assedi e delle rivolte urbane, le case dell'epoca, infatti, con i rozzi focolari a fuoco aperto e con le torce come fonti di illuminazione, si incendiavano molto sovente e dovevano così essere rimpiazzate in anticipo. La città di Rouen, ad esempio, bruciò tre volte nel periodo fra il 1200 e il 1225. Innumerevoli sono anche le chiese di cui si incendiarono le armature lignee: così, soltanto nel Nord della Francia, sono citate da Quicherat le chiese abbaziali di St. Martin de Tours, di St. Vaast d'Arras, di St. Riquier de Corbie e del Mont Saint-Michel, e le cattedrali di Bayeux, Chartres, le Mans e Cambrai.

Nel *Dizionario delle cattedrali di Francia*[23] – che menziona gli incendi solo in modo aneddotico e non sistematicamente – si trova che circa 30 cattedrali bruciarono almeno una volta (alcune anche tre volte) tra la fine del X secolo e l'inizio della guerra dei Cento Anni. Questo flagello colpiva tutta l'Europa Occidentale.

Sia la penuria di legname per la costruzione, sia l'aumento di prezzo del legno, che furono la conseguenza dell'eccessivo sfruttamento delle foreste, sono rivelati, insieme a questo eccessivo consumo, da numerose testimonianze. Ma se ne prese coscienza troppo tardi.

[23] M. Florisoone, *Dictionnaire des cathédrales de France*, Larousse, Paris 1971.

Città e scambi

Il miglioramento della condizione rurale

"Ciò che significò per prima cosa l'arte delle cattedrali in Europa, fu la rinascita delle città. Ma la vitalità che le animava derivava ancora, quasi tutta intera, dalle campagne circostanti. Arte urbana, l'arte delle cattedrali attinse dunque dalle vicine campagne il principale alimento per la propria crescita"[1].

Abbiamo già visto in quale contesto di permanente insicurezza, di frequenti carestie, di imprevedibili esazioni, di violenza ai diritti, si trovasse la massa dei lavoratori rurali – fossero costoro dei piccoli proprietari, fittavoli, mezzadri, dipendenti permanenti di un signore oppure giornalieri (usiamo qui deliberatamente dei termini moderni per non confondere il lettore con i termini dell'epoca, più precisamente appropriati alle diverse situazioni giuridiche, economiche o sociali). In tale difficile contesto fiorivano anche l'intraprendenza individuale, lo sforzo tenace dei contadini per elevarsi e garantirsi un domani e lo spirito di iniziativa dei dissodatori nel conquistarsi, clandestinamente o apertamente, delle nuove terre.

A partire dal X secolo, d'altra parte, si presentarono migliori condizioni climatiche e generali. Le Roy Ladurie ha segnalato[2] che un periodo climatico tiepido intorno all'anno mille (IX-XII secolo) coincide con l'occupazione e lo sfruttamento dello spazio rurale francese.

[1] G. Duby, *Le Temps des cathédrales*, N.R.F., Paris 1976, p. 115.
[2] G. Bertrand, *op. cit.*, p. 77.

La condizione dei contadini, nell'XI-XII secolo, era generalmente migliorata: se anche degli ordinamenti o delle tassazioni più regolari andavano sostituendo, a vantaggio del signore, ma non sempre a svantaggio del dipendente, i vecchi carichi fiscali arbitrari e irregolari, un certo numero di agricoltori aveva potuto approfittare dei privilegi concessi ai dissodatori; alcune prestazioni gratuite dovute ai signori erano cadute in desuetudine. I contadini non erano più tutti inchiodati alla terra, ma anzi molte comunità di villaggio erano riuscite ad acquistare, spesso assai caro e al prezzo di anni di indebitamento[3], le loro carte di franchigia. "Il regime della signoria fondiaria si rivela, attraverso la maggioranza dei testi di quel tempo, molto favorevole all'economia agricola. Esso non opprimeva i piccoli contadini e non prelevava che una piccola parte del loro guadagno. Gli uomini che, nel corso dell'XI e del XII secolo, aumentarono il rendimento delle colture e conquistarono tanti terreni agli spazi incolti, non dovevano avere l'impressione di faticare solo per il profitto di un padrone"[4].

Duby, che parla di un certo "ottimismo" che avrebbe regnato a partire dall'XI-XII secolo nelle campagne e che ha pure usato il termine "prosperità" per il XII secolo, così descrive l'evoluzione nelle campagne durante l'epoca che ci interessa: "è proprio, sembra, quando questi due movimenti (da una parte, le oscillazioni del clima e, dall'altra, quelle che portano dalla guerra alla pace, dall'ordine al disordine) si stabilizzano contemporaneamente, quando cioè il miglioramento delle condizioni meteorologiche viene a coincidere con la fine delle aggressioni contro la periferia lontana delle società contadine e quindi con l'applicazione alle necessità agricole delle tecniche di cui la guerra aveva favorito in un primo tempo il perfezionamento, proprio allora è il momento in cui gli slanci del progresso iniziano a propagarsi più rapidamente. Ciò si produsse in particolare, come è più evidente, nella Francia dell'XI e XII secolo, quando venne a stabilirsi una sorta di pace ed il ferro e il cavallo non servirono più soltanto ai guerrieri, ma anche ai coltivatori"[5].

Si è calcolato che, nel corso del XIII secolo, vi sia stato un raddoppio della produzione media. "La conseguenza più vistosa fu la quasi scomparsa delle carestie, poiché ormai tutti gli uomini, o quasi, ordinariamente riuscivano a sfamarsi, almeno fino ad una data variabile tra la seconda metà del XIII secolo e la prima metà del secolo seguente... La Francia delle cattedrali non fu affamata"[6].

Questo relativo miglioramento non doveva oltrepassare la fine del XIII secolo o l'inizio del XIV, quando la condizione dei lavoratori dei campi, sia pure in un quadro differente, doveva farsi di nuovo assai difficile: il fatto è, in particolare,

[3] G. Duby, *L'économie rurale...*, cit., p. 478.
[4] *Ivi*, p. 446.
[5] AA.VV., *Histoire de la France Rurale*, cit., I, p. 21.
[6] C. Fourquin, in *Ivi*, I, p. 454.

che questo periodo positivo di circa due secoli aveva ridato stimolo alla crescita della popolazione, ma la produzione alimentare, nonostante l'aumento dovuto all'estensione delle colture, non era riuscita a tenerle dietro.

Le rivolte contadine furono rare fra l'XI e il XIII secolo. Ma nel XIV secolo la miseria, la fame, la mancanza di lavoro, a cui s'aggiungevano le esazioni e le imposte dei principi e dei re, dovevano produrre un certo numero di rivolte nelle campagne, che furono soffocate nel sangue: le più note sono la *Jacquerie* del 1358 in Francia e la grande rivolta dei lavoratori in Inghilterra nel 1381. Nei secoli precedenti si hanno invece pochi esempi: si può citare la rivolta avvenuta sulle terre dell'abbazia di Saint-Denis nel 1250, che coinvolse 2000 contadini e si concluse, senza spargimento di sangue, con un accordo su una maggiore regolarità delle imposte.

La demografia e l'impiego

La crescita demografica, conseguenza di un sicuro miglioramento della condizione rurale, legato a sua volta ad un arresto delle invasioni e dei conflitti più dannosi ai contadini, nonché a un periodo climatico favorevole e ad un progresso delle tecniche rurali, presentava ciò nondimeno dei problemi. Il dissodamento di nuove terre, che del resto si scontrò rapidamente contro fattori limitanti – terre troppo difficili da lavorare, zone poco fertili, difesa del capitale forestale – non era più sufficiente. L'eccedenza di popolazione nelle campagne doveva dunque trovare altri sfoghi. Per ovviare ad un eccesso di popolazione, e quindi alla disoccupazione e alla miseria che ne sono il corollario, si è fatto ricorso, in diversi momenti della storia, a soluzioni o diversivi come la guerra di conquista, il lavoro forzato o i cantieri popolari: si possono ricordare in particolare, così alla rinfusa: i templi e le piramidi d'Egitto, le conquiste e le grandiose opere pubbliche dei Romani e degli Incas, le grandi invasioni, le guerre napoleoniche, gli *ateliers* nazionali del 1848, i cantieri e le guerre coloniali del XIX secolo, i lavori di bonifica delle Paludi Pontine e le guerre coloniali sotto il regime fascista, le autostrade tedesche e la guerra di espansione per il *Lebensraum* dei nazisti.

Dall'XI al XIII secolo la grande operazione dei dissodamenti occupò una parte della popolazione in soprannumero. Le crociate, a loro volta, permisero di indirizzare verso il sogno e l'avventura una massa di diseredati, davanti ai quali si facevano balenare le gioie dell'aldilà non meno che le soddisfazioni immediate della conquista – senza contare, ovviamente, coloro che non erano volontari. Descrivendo il risultato della sua campagna di predicazione per la Crociata del 1146, san Bernardo scrive al papa, senza molta modestia: "Ho aperto la bocca, ho parlato e subito i crociati si sono moltiplicati all'infinito. I villaggi ed

i borghi sono deserti. Trovereste difficilmente un uomo ogni sette donne. Non si vedono da ogni parte che delle vedove i cui mariti sono ancora vivi".

Ai grandi signori feudali (analogamente a ciò che era accaduto con le spedizioni di conquista dei Normanni, in Inghilterra nel 1066 e, un po' più tardi, nel Sud Italia e in Sicilia) le crociate fecero anche il regalo di trascinare verso spedizioni coloniali gli avventurieri, gli scavezzacolli di ogni specie, i "temibili" insomma di quell'epoca, cioè quegli elementi inquieti che, nelle terre metropolitane, turbavano l'ordine pubblico, rendevano insicuro il traffico commerciale e creavano delle difficoltà al potere stabilito. Signori molto modesti, come Roberto il Guiscardo, divenuto duca delle Puglie e della Calabria, riuscivano così a farsi dei reami oltre mare, e il loro esempio contribuiva a spingerne altri. Ma, per i ceti laboriosi, si offriva anche un altro sbocco: come conseguenza di un relativo ritorno alla sicurezza, gli scambi, infatti, stavano aumentando e si sviluppavano le città. I contadini scoraggiati a causa delle condizioni di vita in campagna oppure privati delle proprie terre, coloro che non riuscivano a trovare mezzi regolari di sussistenza, coloro che volevano sfuggire ad una condizione di quasi servitù, che faceva pesare su di essi la dipendenza dal signore, affluivano tutti nelle città, dove speravano di trovare una vita più libera e meno aleatoria. È intorno al 1100 che il movimento delle franchigie iniziò a crescere in molte regioni. "Verso il 1150 le città incominciano ad essere considerate, in opposizione alle campagne, come luoghi dove regnano la libertà personale e le libertà"[7].

E in queste città, che sovente raddoppiavano la popolazione in meno di cento anni, erano attivi il commercio, la costruzione di abitazioni e l'artigianato. Ma ciò non sarebbe probabilmente bastato a tutti quegli uomini in cerca d'impiego, se non si fossero aperti quei grandi cantieri pubblici che furono le cattedrali.

Lo sviluppo delle città, e il moltiplicarsi degli scambi che ad esso è strettamente legato, crearono nuovi mercati per i lavoratori della costruzione. Le concentrazioni urbane obbligano a preoccuparsi sempre di più dei rischi di incendio. Si cerca perciò di realizzare delle costruzioni meno combustibili. L'utilizzazione della pietra va sviluppandosi nello stesso tempo in cui va facendosi più raro e più caro il legname. Per estrarre, tagliare e mettere in opera la pietra, così come per costruire le armature o per coprire i tetti, sono indispensabili degli specialisti: cavapietre, scalpellini, scultori, carpentieri, copritori, muratori, ecc. nonché dei fabbri capaci di fabbricare, riparare e conservare gli strumenti. Questi operai, nelle grandi città, verranno organizzandosi a poco a poco in gruppi di difesa dei propri interessi, dei propri privilegi e delle proprie tecniche – le corporazioni – e in associazioni di solidarietà operaia più o meno segrete, che daranno origine ai massoni e al *compagnonnage*. La mobilità dell'im-

[7] *Ivi*, p. 484.

piego, istituzionalizzata più tardi da costumi come la *Tour de France*, resi possibili grazie ai collegamenti – le logge – stabiliti nelle città, concorreva alla diffusione delle tecniche nuove, allo sconfinamento, al rimescolamento delle idee e alla evoluzione degli stili verso una scala nazionale e addirittura europea. Coloro che possiamo chiamare gli "architetti" delle cattedrali gotiche non sono più dei monaci, ma dei laici, di cui la storia ha spesso conservato i nomi. Formati "sul posto", abituati a viaggiare da cantiere a cantiere, questi architetti erano degli uomini coscienti dei problemi pratici e dell'importanza dell'organizzazione razionale del lavoro, vogliosi di perfezionarsi e di informarsi su ogni questione tecnica, e non degli "artisti" distaccati dalle contingenze del reale. Le cattedrali gotiche porteranno il marchio del loro inventivo ed audace pragmatismo.

Espansione urbana e cinture verdi

In Francia, i re approfittarono della precaria situazione della popolazione e riuscirono, in particolare, ad assicurare la propria autorità e le proprie possibilità di imposizione presentandosi come l'unica salvezza dei contadini davanti ai signori.

A partire da Luigi VI, all'inizio del XII secolo, il re favorì la creazione di comuni e di città franche di qualunque importanza, almeno nelle terre signorili che sfuggivano alla sua immediata autorità[8]. Era un modo di estendere la base di percezione delle imposte e, contemporaneamente, di opporsi alle iniziative, all'indipendenza e alla ribellione dei piccoli e grandi signori feudali; il re veniva così a creare, oltre che gruppi di individui riconoscenti e fedeli, dei punti di appoggio, delle piazzeforti e dei centri devoti alla corona, garantendosi anche la possibilità di arruolare delle truppe. In tali condizioni, il re aveva interesse, finché ne manteneva il controllo, che la prosperità delle città si accrescesse e che gli scambi commerciali, sui quali prelevava imposte, si sviluppassero; il traffico era facilitato dall'estensione del demanio reale e delle città fortificate, le quali costituivano dei centri di controllo del territorio e dei punti di passaggio obbligati per i trasporti.

Questo sviluppo delle città portò del resto, in molte regioni, ad una vera indipendenza dei comuni o a delle federazioni fra di essi; nel XIV secolo, esse avrebbero dato luogo a scontri che spesso, tuttavia, sarebbero stati risolti dalle milizie contadine o urbane a proprio favore. Così, ad esempio, le truppe reali francesi, nel 1302, furono sconfitte a Courtrai dalle milizie delle Fiandre. A

[8] R. Fawtier, "Les Capétiens directs", in AA.VV., *Histoire Universelle*, La Pléiade N.R.F., Paris 1957, p. 745.

Bannockburn, nel 1314, i *clans* scozzesi respinsero le truppe del re d'Inghilterra. Nel 1315 gli Asburgo furono costretti a ritirarsi, a Morgarten, davanti ai soldati dei cantoni svizzeri.

In Francia, dall'XI al XII secolo, i comuni non riuscirono ad acquistare l'indipendenza, ma beneficiarono sovente di una assai larga autonomia, ciò che fu sufficiente a favorire uno sviluppo rapido delle città, in un paese che era situato al centro degli scambi dell'Europa Occidentale e che, allora, era il più popolato del continente. E, all'interno delle città, si formarono condizioni nuove, che non potevano mancare di avere conseguenze in tutti i campi e, in particolare, in quello della costruzione.

Ma questo sviluppo demografico ed economico nelle città ebbe anche delle influenze sui territori vicini. Secondo certi autori, la popolazione di Parigi sarebbe passata in un secolo, dalla fine del XII alla fine del XIII, da 100.000 abitanti a 240.000[9]. Le cifre sono comunque controverse: Fourquin osserva: "Nel 1328, Parigi contava più di 61.000 nuclei famigliari, cioè circa 200.000 abitanti, ma la più grande città d'Occidente a Nord delle Alpi aveva potuto ingrandirsi tanto solo perché le sue campagne ne avevano incessantemente nutrito e sostenuto la crescita"[10]. Ma Le Goff[11], da parte sua, è convinto che la popolazione di Parigi, all'inizio del XIV secolo, non superasse gli 80.000 abitanti.

Comunque sia, se si considera che erano allora necessari circa 2 ettari di coltura per abitante[12] e che ci volevano 9 contadini per ogni abitante delle città (a prendere la stima più bassa), una popolazione di 800.000 bocche da nutrire (di cui 9/10 di contadini) avrebbe avuto bisogno di 1.600.000 ettari coltivati, cioè di 16.000 km^2: in tale territorio legato a Parigi non potevano resistere, al di fuori delle terre coltivate, che pochissime foreste – quelle che erano di proprietà del re, dei signori o della Chiesa – ma tutte minacciate, assediate e rosicchiate, come di nuovo lo sono adesso, per colpa dell'urbanizzazione e della speculazione fondiaria. La "cintura verde", dalla quale una sola città dell'importanza di Parigi doveva ricavare la propria sussistenza, il proprio combustibile e la quasi totalità delle materie prime necessarie, copriva dunque un raggio – anche tenendosi alle cifre di popolazione più basse – fra i 75 e gli 80 km di lunghezza. Queste cifre devono poi essere alzate per tener conto non solamente del fatto che il Bacino parigino era una delle zone favorite della Francia, con un attivo commerciale del grano che permetteva di esportare una parte della produzione, ma anche del fatto che in quel territorio si trovavano altre città, oltre a Parigi:

[9] L. Mumford, *La cité à travers l'histoire*, Seuil, Paris 1964, p. 332 [*La città nella storia*, tr. it., Bompiani, Milano 1976].

[10] G. Fourquin, *op. cit.*, p. 554.

[11] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 363.

[12] G. Huffel, *op. cit.*, p. 143.

bisogna dunque calcolare, come ordine di grandezza del raggio di questa "cintura verde", almeno una distanza di circa 100 km, nell'ipotesi più favorevole. Solo al di là di questo spazio era possibile trovare delle regioni o delle foreste importanti, meno legate alla domanda urbana e alla coltura itinerante, dove gli alberi potevano – e non solo in via eccezionale – crescere normalmente e raggiungere la loro piena maturità. Si può capire, in tali condizioni, perché un Suger, alla fine del XII secolo, trovasse così difficile reperire del legname nella regione parigina e perché gli specialisti gli consigliassero di uscire dal circondario della grande città e di recarsi nella regione di Auxerre, a 165 km da Parigi; egli poi considerò uno straordinario colpo di fortuna l'esser riuscito a trovare ciò che cercava a soli 30 o 40 km da Parigi, nella foresta di Chevreuse o di Montfort-l'Amaury. Queste cifre, in effetti, rientrano bene negli ordini di grandezza che abbiamo calcolato. Per ogni città si produceva la medesima situazione, ovviamente alla scala delle diverse popolazioni: nei pressi delle città non restavano che pochissimi boschi, conservati e sorvegliati gelosamente dal re e dai signori che ne erano proprietari. Si accresceva così la distanza fra le città e le loro fonti di legname – soprattutto di legno da costruzione, poiché in generale le gente era autorizzata a rifornirsi di legna per il riscaldamento anche nelle foreste reali. Ora, il commercio e il trasporto degli oggetti pesanti, soprattutto per via di terra, erano assai difficili. I pedaggi e l'insicurezza facevano rincarare il prezzo delle merci. Si è potuto calcolare che un trasporto di 18 km faceva raddoppiare il prezzo della pietra[13]. Da Tonnerre a Troyes, il prezzo delle pietre veniva quintuplicato[14]. Bastano questi esempi per avere un'idea della lievitazione che un trasporto di più di 100 km causava sul prezzo del legname.

Per gli uomini di città, insomma, diventava sempre più difficile rifornirsi di legno da costruzione, mentre le comunità monastiche, generalmente situate nel mezzo dei boschi di cui erano proprietarie, avevano assai meno problemi da questo punto di vista.

Ma è proprio in questo periodo che lo sviluppo urbano, al quale avevano dato un fortissimo stimolo le franchigie comunali, cominciava ad esprimersi nella costruzione delle prime cattedrali.

[13] J. Gimpel, *Les bâtisseurs des cathédrales*, Seuil, Paris 1958, p. 82 [*I costruttori delle cattedrali*, tr. it. di G. Veronesi, Mondadori, Milano 1961].

[14] P. du Colombier, *Les chantiers des cathédrales*, A.J. Picard, Paris 1973, p. 20.

La relazione fra la nascita e l'espansione dell'arte gotica ed il movimento comunale appare nettissima; Vitet, Viollet le Duc e Choisy l'hanno messa in evidenza: le prime cattedrali gotiche si innalzano a Noyon, Senlis, Sens, Bourges, Laon e Amiens, cioè nelle prime città francesi dotate di franchigie comunali.

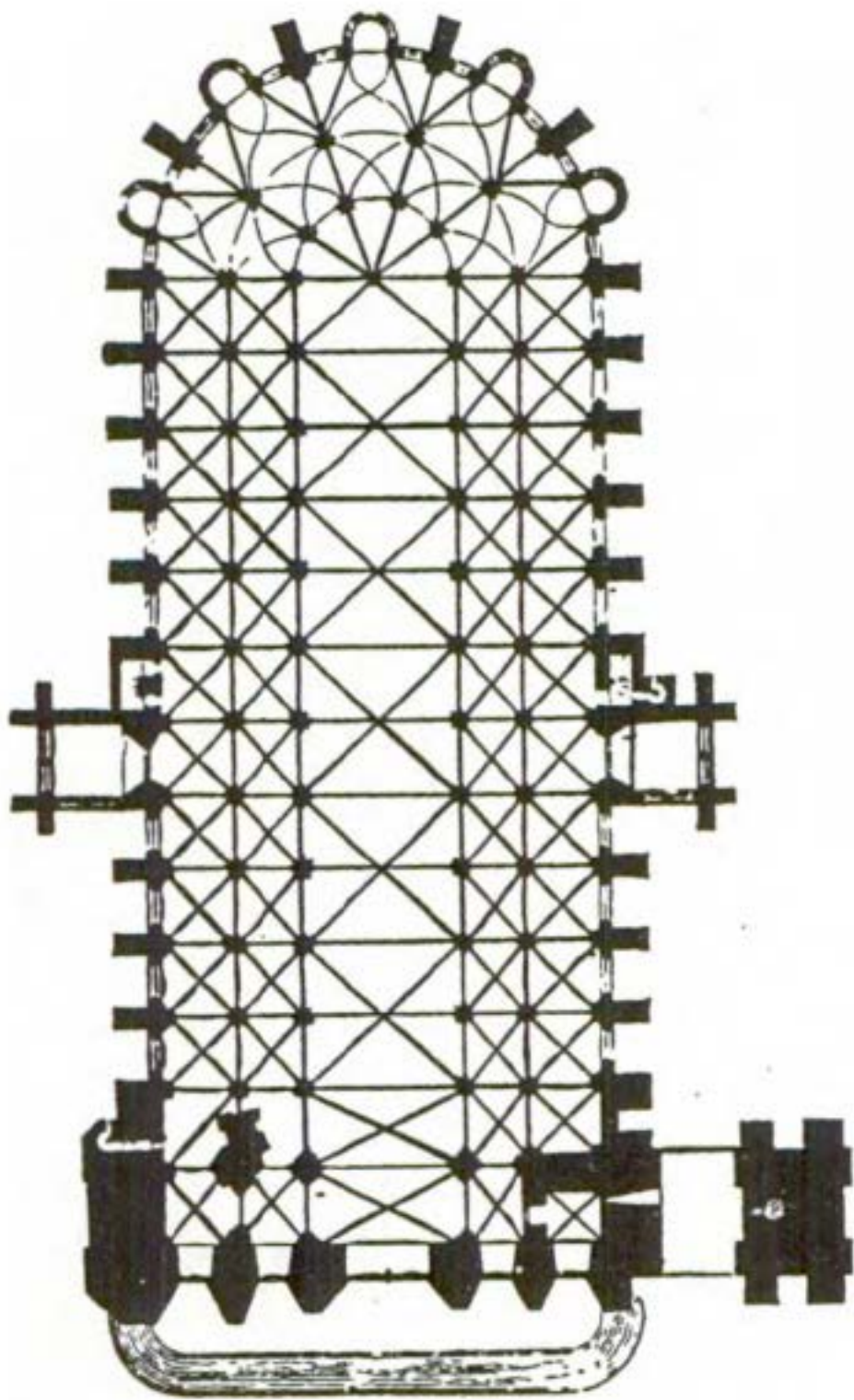
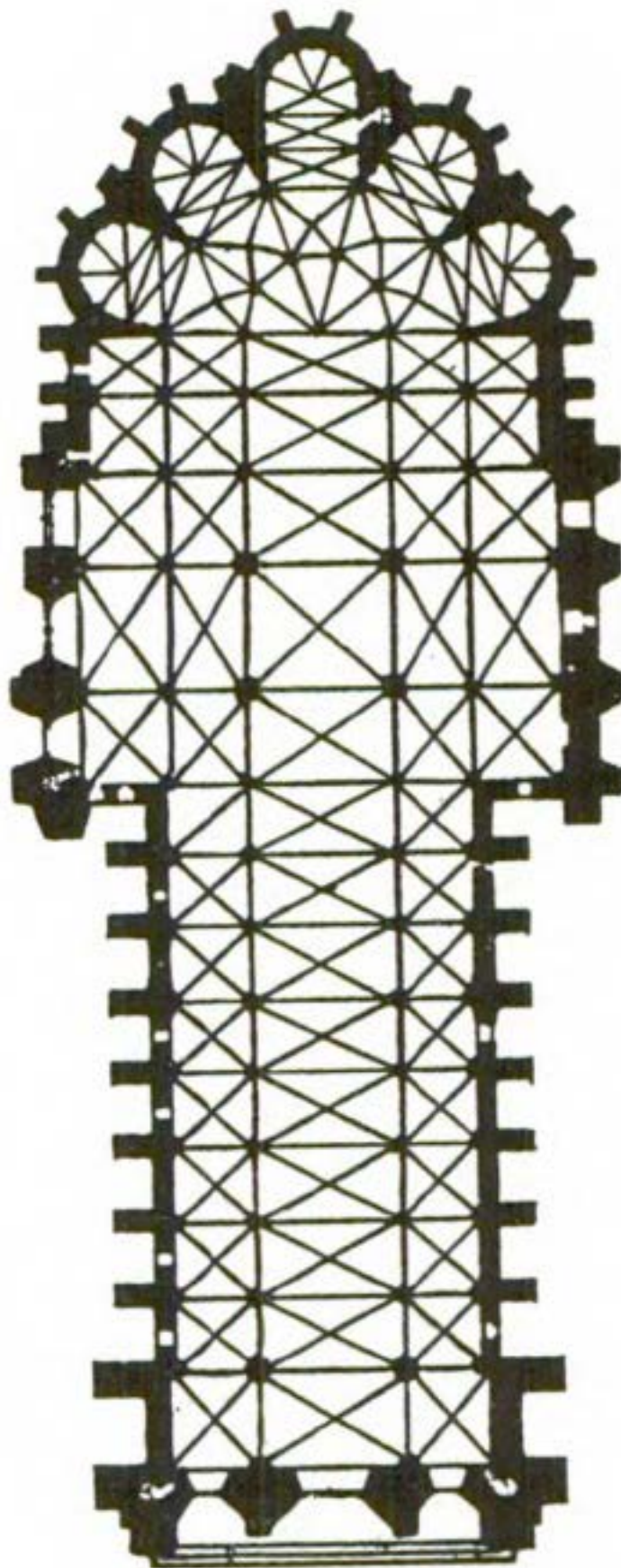
L'espansione dello stile gotico viene, d'altra parte, favorita dall'estendersi del potere monarchico, che si sviluppa, nella maggior parte dei casi, combattendo i poteri feudali attraverso i privilegi accordati ai comuni e la creazione di città franche. Da parte loro i vescovi, la cui influenza era andata per parecchi secoli eclissandosi, in favore dei dirigenti degli ordini religiosi e delle grandi abbazie, trovano il loro interesse, non senza violenti conflitti con i movimenti comunali, nel far crescere l'influenza e la prosperità delle città di cui hanno il beneficio. Il movimento delle cattedrali si situa dunque in un contesto politico e sociale molto particolare, alla confluenza di interessi laici e religiosi, nel momento iniziale della politica centralizzatrice dei re di Francia, coincidente con il declino della feudalità. Le cattedrali sono il simbolo, il segnale, l'"immagine mancante" della Città davanti ai castelli dei signori.

Molto nuovo era dunque il "programma" delle cattedrali. Bisognava disporre, nelle città, di un luogo di riunione che fosse sempre pronto e dove quasi tutta la popolazione potesse riunirsi. Non si poneva neppure il problema – almeno all'inizio del movimento comunale – di costruire a tal fine due edifici, giacché la vita laica e la vita religiosa erano, sotto ogni punto di vista, legate intimamente.

Alla fine del XII secolo, il programma della cattedrale francese non era più quello di una chiesa parrocchiale o di un santuario per pellegrinaggio: le esigenze di utilizzazione civile si univano agli imperativi delle funzioni religiose e liturgiche.

In seguito, quando l'utilizzazione laica delle cattedrali porterà a degli abusi, si tenderà in particolare a separare il coro dal resto dell'edificio con una griglia, in modo da preservare la parte più sacra della chiesa dagli sconfinamenti profani[15]. Più tardi ancora, vi si vieteranno le rappresentazioni di farse e le feste di carattere troppo leggero, nel corso delle quali la cattedrale era lasciata per molti giorni a disposizione dei cittadini per i loro spettacoli, che spesso davano luogo ad incredibili buffonerie. Soltanto nel XVII secolo avranno termine definitivamente queste abitudini.

Le guglie delle cattedrali contengono anche l'indispensabile torre con dentro le campagne: esse trasmettono ai cittadini i messaggi urgenti, le convocazioni alle assemblee o la chiamata alle armi, ma anche il regolare invito alla preghiera e l'annunzio delle ore, di giorno come di notte. Solo più tardi, dopo che le auto-

[15] A. Choisy, *Histoire de l'Architecture*, Baranger, Paris 1926-1929, II, p. 518.

1) Cattedrale di Bourges
2) Cattedrale di Reims
"Vaste sale da ogni parte accessibili alla folla..."

rità ecclesiastiche si sforzarono in tutti i modi di limitare l'uso delle campane ai bisogni religiosi, le città furono obbligate a costruire delle torri campanarie comunali, utilizzando, dapprima, edifici la cui destinazione era diversa, poi invece costruzioni erette specialmente a tal fine, ai piedi delle quali venivano raggruppati tutti i servizi comunali nelle così dette "Maisons de Ville".

"Le prime cattedrali, scrive Choisy[16], hanno l'aspetto di vaste sale prive di divisioni interne e da ogni parte accessibili alla folla... La cattedrale non è sol-

[16] *Ivi*, II, p. 517.

tanto l'edificio del culto, ma anche un luogo di pubbliche assemblee. Riunioni municipali, feste civili, rappresentazioni di misteri, tutto avviene fra le sue mura; la cattedrale è il centro unico dell'esistenza comunale e come il cuore della città. Questa larga e liberale concezione... ne fece il monumento più popolare che mai vi fosse stato. Le popolazioni non avevano nessun legame diretto con la chiesa abbaziale, mentre nelle cattedrali esse vedono il loro proprio monumento. Ciò spiega lo zelo che esse mettono nel costruire le cattedrali, nonché l'emulazione che spinge ogni città a superare le altre vicine". E Viollet le Duc afferma, con il lirismo tipico del suo tempo: "Le cattedrali del XII e del XIII secolo sono il simbolo della nazionalità francese, il primo e il più possente tentativo di raggiungere l'unità: se nel 1793 sono rimaste in piedi, a parte poche eccezioni, è perché questo sentimento era rimasto nel cuore della popolazione, malgrado tutto quello che era stato tentato per strapparvelo"[17].

È vero che la maggior parte delle cattedrali – anche se spesso solo grazie all'intervento di uomini coraggiosi e chiaroveggenti – rimasero in piedi nel corso della Rivoluzione, ma molte ne furono profondamente danneggiate negli ornamenti e nelle culture. Resta un fatto, tuttavia, che merita effettivamente riflessione e richiederebbe anzi uno studio particolare: simboli della città e dei cittadini, in opposizione alla feudalità, nel XII e nel XIII secolo, che cosa rappresentavano le cattedrali per il popolo della Rivoluzione del 1789?

Lo sviluppo degli scambi

La fine delle invasioni e degli attacchi dei grandi predatori, normanni, ungari, saraceni, e lo sviluppo urbano che va sempre più accrescendosi, si accompagnano, all'inizio dell'XI secolo, con un'intensificazione degli scambi. Le fiere, e in particolare quelle della Champagne nel XII e XIII secolo, ne costituiscono un elemento primario. Il commercio è legato soprattutto ai prodotti di lusso e a quelli di prima necessità: tessuti, pellicce, spezie, sale, vino, utensili, metalli, farina, tele, pelli... La moneta diventa d'uso più corrente, mentre l'utilizzazione della cambiale comincia a svilupparsi fra le agenzie delle case di importazione ed esportazione – che in Francia sono soprattutto tenute da lombardi. Il commercio marittimo si instaura verso la fine del XII secolo fra le città tedesche della Hansa ed i porti italiani; questo commercio per via d'acqua, grazie agli sbocchi sul mare di grandi fiumi navigabili, può estendersi anche all'interno del continente, permettendo, lungo certi itinerari, il trasporto di materiali pesanti a

[17] E. Viollet le Duc, *Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française du XI*e *au XVI*e *siècle* (10 vol.), Paris, III, p. 281.

condizioni economiche accettabili. Vi sono anche certe cave, in Normandia, che esportano pietra verso l'Inghilterra.

Ma lo sviluppo rurale ed urbano porterà anche all'espandersi del commercio per via di terra. Bisogna infatti notare, entro un mondo rurale dove i primi artigiani erano stati, almeno fino al XII secolo, degli schiavi in stretta dipendenza dai signori[18], la crescente indipendenza e importanza delle attività non agricole. Il potere d'acquisto delle masse contadine va aumentando proprio perché molti agricoltori esercitano a domicilio un secondo lavoro come artigiani: filatura della lana, fabbricazione di panni, tessitura, lavorazione della pelle, preparazione di pali per le viti e di botti, lavori di costruzione. In tal modo, nonostante i loro scarsi mezzi, ma in ragione del loro numero, i contadini riescono a costituire un mercato, mentre nello stesso tempo forniscono ai commercianti, a partire dal XII secolo, tutta una serie di prodotti lavorati, contribuendo così allo sviluppo degli scambi. D'altra parte, i contadini che non riescono a vivere nelle campagne, ormai sovrappopolate e senza molte risorse, a causa delle limitate possibilità produttive, trovano minori difficoltà, rispetto ai secoli precedenti, nel lasciare la terra per cercare nuovi impieghi in città. Alcuni preferiscono collocarvi i figli come apprendisti. Tutto questo contribuisce, non meno dei mercati dove si raccoglieva tutta la popolazione del circondario per comprare o per vendere, ad accelerare gli scambi tra le città e le campagne e la circolazione di prodotti che spesso provengono da molto lontano.

Ma le merci pesanti come i cereali[19] entrano solo lentamente in questo grande commercio: è anche il caso del legname, che vi entra a partire dal XII secolo, ma al prezzo di un considerevole aumento di costo. I trasporti per via di terra erano infatti molto difficili per i prodotti pesanti o di grandi dimensioni, nonostante i progressi nel sistema di tiro e nella ferratura dei cavalli e il perfezionamento dei veicoli. Il fatto è che la rete stradale, condizione essenziale per passare dal trasporto manuale al trasporto su carri, era allora assolutamente insufficiente. Si utilizzavano ancora le antiche strade romane, che però non erano più curate in modo sistematico a partire dall'ultima epoca centralizzatrice, quella carolingia.

Durante tutto l'Alto Medioevo, la cura delle strade dipendeva dal signore locale. I trasporti terrestri si facevano soprattutto portando nelle proprie mani la merce e la circolazione avveniva a dorso di cavallo o di asino; se a questo scopo erano sufficienti delle semplici piste, d'altra parte, quando si trattava di portare cose diverse dalle merci molto preziose o leggere, il carro si rivelava indispensabile e la cattiva qualità della strada costituiva un ostacolo spesso insormontabile. Certo, i signori avevano interesse ad attirare i mercanti, giacché imponevano loro delle tasse, delle imposte e dei pedaggi, senza contare che per i nobili

[18] G. Duby, *L'économie rurale...*, cit., p. 259.
[19] *Ivi*, p. 232-246.

e per le loro famiglie il passaggio dei mercanti era un'occasione di distrazioni, di informazioni su ciò che avveniva all'esterno e di acquisti. Ma, per i bisogni dei signori, il trasporto assicurato dai cavalli o da asini era senz'altro sufficiente; quanto alla manutenzione delle strade, che era effettuata da una *corvée* gratuita dei contadini, si limitava a rendere possibile il passaggio dei cavalieri. Spesso i signori temevano addirittura di nuocere alla propria sicurezza, facilitando troppo l'accesso nelle proprie terre a degli avversari.

I re di Francia, al contrario, vedevano nella sistemazione delle strade carrozzabili un mezzo per facilitare lo sviluppo della loro autorità, giacché esse potevano permettere lo spostamento delle macchine da assedio – più tardi dell'artiglieria – e delle vettovaglie, degli armamenti e delle munizioni necessarie alle truppe: un tipo di trasporto che, sulle strade di allora, era molto laborioso. D'altra parte, lo sviluppo del commercio e degli scambi fra le città (che i re favorivano perché, direttamente o indirettamente, contribuiva a portare denaro nelle loro casse) richiedeva il miglioramento delle strade, affinché diventasse possibile trasportare anche delle merci più voluminose e più pesanti.

I re di Francia, insomma, si preoccupano di migliorare la circolazione, dapprima all'interno delle città, poi fra una città e l'altra. Nel 1185, ad esempio, Filippo Augusto fa lastricare le vie di Parigi. E, a mano a mano che va estendendosi il demanio reale, i monarchi si sforzano di liberare e di migliorare le strade, perché possa svilupparsi il commercio a vantaggio delle finanze reali e sia facilitato l'esercizio dell'autorità.

Ma, un po' dovunque, queste strade erano interrotte da fiumi che, qualche volta, era possibile attraversare a guado oppure su barche leggere, più raramente passando sopra dei ponti. Questi erano, di solito, costruiti in legno; solo quei pochi che erano stati lasciati dai romani e che erano sopravvissuti al trascorrere dei secoli erano invece di pietra. Nell'XI secolo si ricominciarono a costruire dei ponti. Molti, fra quelli fatti in quest'epoca, sono attribuiti ai *Frères Pontifes*, i quali sarebbero stati dei religiosi ingegneri, specializzati nella costruzione di ponti e carreggiate. Comunque sia, è noto che i ponti leggeri, come quelli sospesi o quelli fatti di legno, temono le vibrazioni, tant'è vero che i regolamenti militari prescrivono, a una truppa in marcia lungo un ponte, di "rompere la cadenza", al fine di evitare possibili effetti pericolosi di vibrazioni ritmate.

Uno dei primi ponti costruiti in pietra dopo i tempi dei Romani, cioè il ponte di Avignone, eretto nel 1198, non aveva questo inconveniente: si può pensare che proprio perché vi si poteva danzare sopra senza rischi, una canzone popolare l'abbia reso celebre fra i bambini francesi nei secoli successivi.

Ma lungo la rete stradale interna dell'Occidente, e in particolare in Francia, i molteplici pedaggi pretesi dai signori e i frequenti casi di brigantaggio rendono aleatoria l'instaurazione di un commercio regolare e fanno alzare considerevol-

PONTE DI PIETRA

Ponte Valentré a Cahors, con torri di protezione (disegno di Viollet le Duc). Questo ponte esiste ancora oggi.

mente il costo di ogni materiale trasportato. Il re di Francia si sforza di migliorare la libertà di circolazione sottraendo potere ai signori che si facevano pagare i pedaggi e combattendo i banditi che sulle grandi arterie impedivano lo sviluppo del commercio. Anche per gli stessi viaggiatori i pericoli erano grandi, al punto che nel 1179 la Chiesa doveva reclamare una maggiore sicurezza per i viaggiatori, i contadini e i mercanti.

A conferma dell'aumento della circolazione commerciale, si possono trovare molte tracce, nella seconda metà dell'XI secolo, di una lievitazione dei pedaggi. Duby riferisce parecchi esempi caratteristici: il profitto del *tonlieu* di St-Lô aumenta di quattordici volte fra il 1039 e il 1093; in certe regioni, come il Mâconnais e l'Ovest, è proprio l'epoca in cui si instaurano i primi pedaggi[20].

I re, i signori e le città si sforzavano di reperire la maggior parte dei prodotti sul loro proprio territorio, anche se, quando era necessario, li facevano trasportare da molto lontano, e sotto buona scorta. È, in particolare, il caso del legname, che Le Goff definisce "il più grande viaggiatore" del mondo occidentale. Ma il costo della commercializzazione e del trasporto gravava pesantemente su tutti i materiali, non solo sul legname, ma anche sulla pietra, sul ferro, sul piombo, sulla calce e, in genere, su tutto quello che non poteva essere reperito nelle immediate vicinanze.

È questo un fattore di cui i costruttori gotici dovranno tenere conto e che avrà delle conseguenze sulle loro opere.

LE IDEE E LA CREATIVITÀ

Se, col crescere degli scambi, i materiali pesanti trovavano gravi difficoltà a circolare, tutto al contrario gli uomini – e ancora più le idee – che la lentezza e il

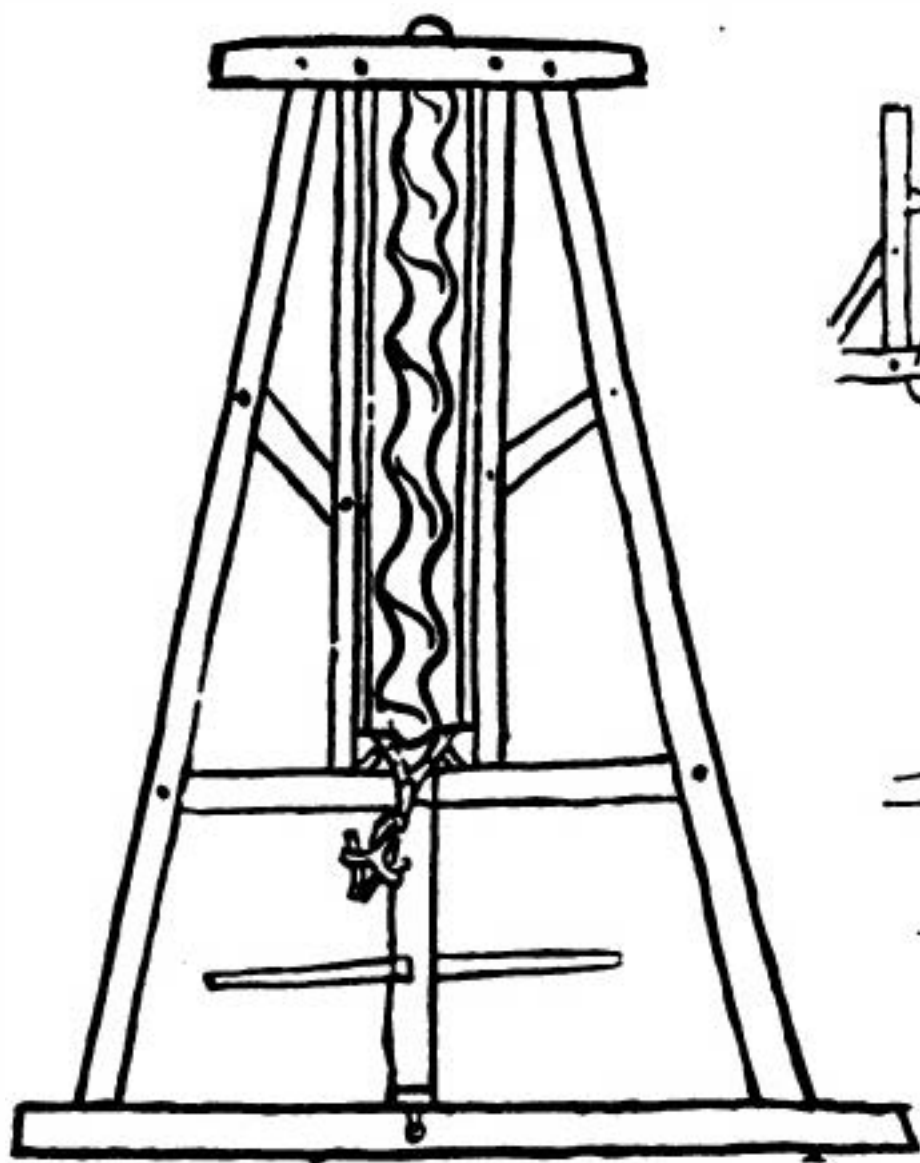
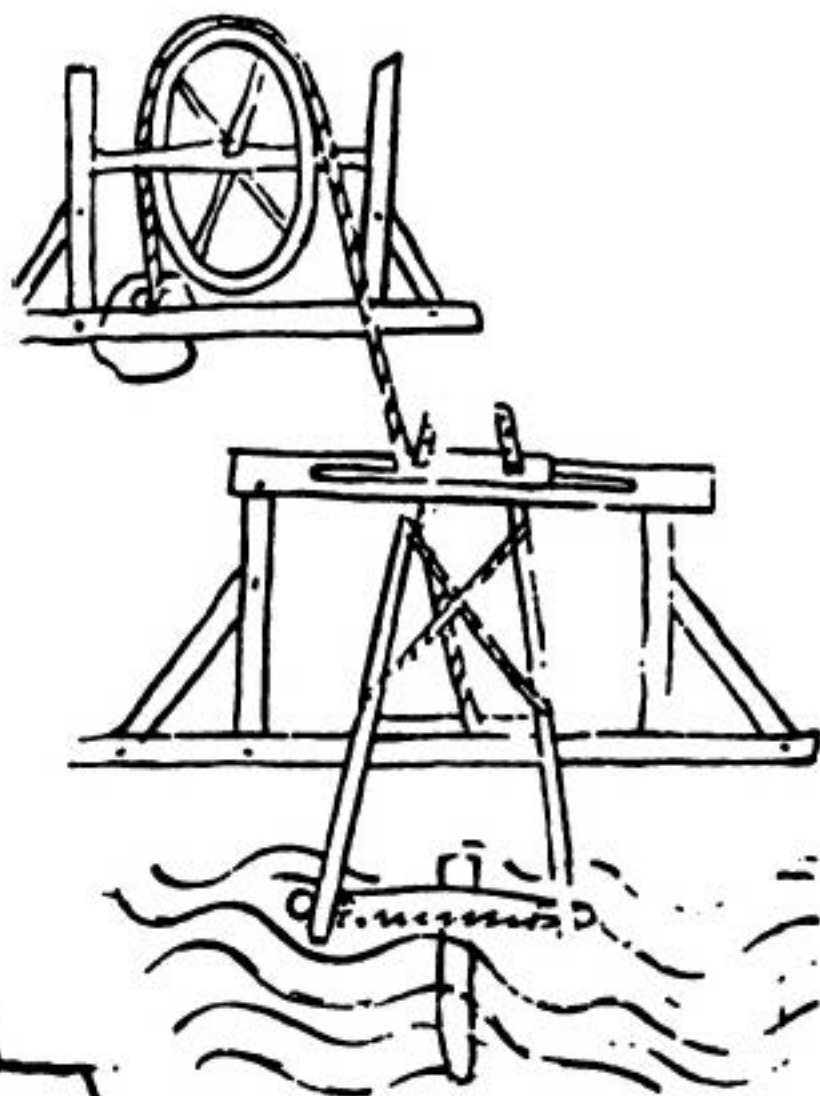
[20] *Ivi*, p. 227.

costo dei trasporti non potevano frenare, viaggiavano attivamente. È certo, ad esempio, che vi furono a quel tempo degli scambi importanti, fra paesi anche molto lontani l'uno dall'altro, nel settore delle tecniche. Scambi di segreti di costruzione o di regali, spionaggio industriale (praticato su larga scala, e Marco Polo ne avrebbe offerto entro breve tempo l'esempio più famoso), utilizzazione nell'Ovest dei transfughi dell'Est o nell'Est di quelli dell'Ovest, impiego di tecnici presi prigionieri e trasformati in schiavi specialisti, che si sapeva come curare o addirittura come vezzeggiare, se necessario... Si scoprono, insomma, delle analogie con la nostra epoca.

D'altra parte, l'accresciuta prosperità dell'XI e del XII secolo, la relativa pace che regnava in Occidente, l'intensificazione del commercio con il mondo musulmano, che le crociate svilupparono ancora in nuovi settori, tutti questi motivi favorirono anche la crescita degli scambi. Ma gli uomini del Medioevo, e soprattutto quelli dell'epoca in cui nacque l'architettura gotica, così pronti com'erano ad assimilare e a perfezionare qualunque idea, avevano anche uno spirito d'invenzione estremamente acuto: erano anzi, spesso, troppo in avanti rispetto alla tecnica della loro epoca.

"La creatività del Medioevo si rivela meglio a noi che ci avviciniamo all'anno Duemila che non agli uomini del XVI secolo. Molto di ciò che venne fatto dai tecnici del Medioevo è rimasto all'oscuro per secoli: le implicazioni non ne sono apparse che molto più tardi"[21]. Questa affermazione di uno storico inglese è confermata da innumerevoli fatti ed è ormai accettata da molti altri studiosi: alcuni hanno parlato di "Rinascimento del XII secolo"[22], altri di "Rivoluzione industriale del XIII secolo" o "del Medioevo"[23]. A loro volta, i fondamentali progressi dell'agricoltura fra il X e il XII secolo hanno meritato la definizione di "Rivoluzione agricola".

Ma la struttura logica e il tipo di raziocinio di questi uomini del Medioevo, pur così abili, così ingegnosi in qualunque settore, così competenti nell'usare al meglio le loro qualità ed i materiali, nel fare lezione di ogni esperienza e nell'immaginare sempre nuovi artifici, erano tuttavia certamente differenti dai nostri su alcuni punti. Mentre, infatti, questi uomini erano capaci di tracciare delle figure, di utilizzare gli strumenti del disegnatore e di riprodurre le proprie concezioni nello spazio, non sapevano però applicare una logica geometrica, la quale avrebbe permesso di mettere a punto quei metodi rigorosi che a loro mancavano e di trovare una soluzione per molti problemi che si ponevano, che essi avevano sovente risolto in una maniera puramente grafica, ma che non riuscivano a risolvere e a generalizzare con il ragionamento. Per mostrare quanto

[21] L. White, *The expansion of technology (500-1500)*, Collins Clear, London, Glasgow 1969, p. 30.
[22] In particolare: Paré, Brunet, E. Tremblay, E. Panofski, Brooke.
[23] E.M. Carus Wilson, *Essays in Economic History*, vol. I e II, London 1962 e J. Gimpel, *op. cit.*

CREATIVITÀ NEL MEDIOEVO

Due disegni di Villard de Honnecourt.
1) Martinetto a vite, capace di sollevare un carico molto pesante
2) Sega meccanica, con cui si possono tagliare pali sott'acqua

fosse basso il livello delle conoscenze in queste materie, si può citare come esempio la corrispondenza scambiata nel 1025 tra due intellettuali, Radolf di Liegi e Reginbold di Colonia, dalla quale risulta, in particolare, che essi non riuscivano a trovare la soluzione di un problema che – secondo il nostro modo di ragionare – ci sembra assai semplice: quello dell'equivalenza della somma degli angoli di un qualunque triangolo con due angoli retti[24]. A fianco di intellettuali che si compiacciono nel discutere all'infinito su questioni che a noi sembrano oggi delle pure speculazioni metafisiche, i tecnici dell'epoca danno, tuttavia, la prova di qualità pratiche ed inventive assai rimarchevoli. Se guardiamo all'evoluzione tecnologica dal 500 al 1500, possiamo osservare proprio nell'XI-XII secolo[25] l'apparizione della maggior parte delle nuove scoperte, nonché l'applicazione pratica di invenzioni che non avevano ancora trovato il terreno

[24] P. Tannery, citato da J. Gimpel, *op. cit.*, p. 117.
[25] L. White, *op. cit.*, p. 36-39.

favorevole per emergere. Altre invenzioni di quest'epoca, al contrario, non poterono concretizzarsi che molto più tardi.

Così, ad esempio, nell'XI secolo, il monaco benedettino Eilmer costruì un aliante e riuscì a volare per circa 200 metri: egli si rese conto, toccando terra un po' bruscamente, di aver sbagliato nel trascurare di mettere una coda al proprio apparecchio. Così dichiarò al "cronista" del tempo che ci ha riferito la cosa: ma, essendosi rotto le gambe in questa avventura, egli preferì non tentare di nuovo l'esperienza o, comunque, la cronaca ulteriore non ce l'ha riferito.

Parecchi anni dopo, nel XV secolo, un ingegnere senese, che ispirò l'elicottero di Leonardo da Vinci, disegnava un'elica sostentatrice per un giocattolo da bambini e, su un'altra pagina del proprio manoscritto, una pompa aspirante. Nella stessa epoca veniva inventato il paracadute, che però avrebbe avuto un'applicazione pratica solo molto dopo. Ruggero Bacone, nel XIII secolo, prevedeva per l'avvenire l'impiego delle automobili, dei sottomarini e degli aerei.

È durante il XII e il XIII secolo che la biella, la camma, il volano e gli ingranaggi entrano nell'uso e conoscono un considerevole perfezionamento (che si rivela nella tecnica dei mulini come in quella degli orologi). Nel XIII secolo appare la carta, che permetterà lo sviluppo della stampa, e, alla fine del medesimo secolo, appaiono gli occhiali, che daranno a tutti la possibilità di leggere e di scrivere, a qualunque età e quale che sia la capacità visiva.

Altre invenzioni furono perfezionate ed ebbero una grande diffusione proprio in quest'epoca, come ad esempio il mulino ad acqua, che era già noto ai Romani, ma subisce numerosi miglioramenti e ottiene una quantità di nuove applicazioni. Il mulino a vento, che appare in Inghilterra nel XII secolo, viene perfezionato rapidamente, tanto che alla fine della sua evoluzione, appare dotato di pale automaticamente regolabili secondo la forza del vento (come le attuali eliche di aereo), le cui alette mobili evitavano l'imballatura del mulino per troppo vento.

Sempre nel XII secolo alcuni tecnici europei migliorano la bussola, mentre la navigazione ha un nuovo slancio grazie al timone di poppa e al perfezionamento del sartiame, delle vele e della struttura delle navi. Nello stesso tempo fa pure dei progressi considerevoli la cartografia marittima.

Molte migliorie tecniche trovavano applicazione anche nel campo dell'agricoltura e contribuivano ad accrescere i rendimenti. Tali perfezionamenti riguardavano sia i metodi di coltivazione, dove si rivelava una capacità riflessiva tutta basata su esperienze secolari efficacemente registrate e assimilate, sia il numero delle specie coltivate, la cui varietà aumenterà molto in quest'epoca, sia, infine, le tecniche impiegate per l'attacco delle bestie da tiro, per la preparazione degli strumenti e degli arnesi, per l'utilizzazione dell'energia muscolare, animale ed umana, e per l'uso dei diversi materiali: legno, ferro, cuoio, ecc. L'attrezzatura dei contadini era pure migliorata (senza contare l'utilizzazione dei mulini per

molte attività rurali di trasformazione) grazie all'introduzione di parecchie nuove tecniche e all'uso di macchine appropriate per trattare la lana, la canapa, il lino e le diverse fibre vegetali o animali.

Fra queste invenzioni, noi abbiamo ricordato soltanto le principali, mentre di quelle che concernono più direttamente il nostro studio parleremo più in dettaglio nel capitolo dedicato al progresso tecnico e alla utilizzazione delle nuove energie e nei capitoli che tratteranno del ferro, del legno e del vetro. Tante invenzioni furono rese possibili da un certo miglioramento della situazione politica e sociale, che permise a poco a poco ad alcuni spiriti curiosi, innovatori ed aperti di trascinare gli altri verso nuove strade, appoggiandosi senza pregiudizi su una migliore conoscenza delle opere del passato per tentare di andare più oltre. Il XII secolo è l'epoca delle traduzioni di opere scientifiche dal greco e dall'arabo in quella lingua europea, patrimonio delle sole classi colte, che era allora il latino, importantissimo veicolo laico di conoscenza il cui impiego generalizzato facilitò molto lo scambio delle idee ed il commercio, subito prima che delle reazioni nazionaliste sviluppassero, a suo danno, le lingue dei vari paesi. I tecnici e gli intellettuali viaggiavano allo scopo di apprendere, senza tener conto delle frontiere fra mondo cristiano e mondo pagano o musulmano. È l'epoca in cui si comincia a praticare l'importazione dei cervelli: ogni università, ogni maestro costruttore cerca di procurarsi, se necessario anche dall'estero, i professori o i maestri più famosi e più qualificati.

"Durante quei 150 anni eccezionali, prima che la Chiesa imponesse veramente i suoi dogmi, degli uomini impararono ad utilizzare la ragione e a discutere intellettualmente. Questa riacquistata libertà spirituale è il punto di partenza del moderno spirito scientifico"[26].

Da Abelardo (1122), al quale Le Goff attribuisce l'onore di aver "dato al pensiero occidentale il primo discorso sul Metodo"[27], a Ruggero Bacone che, nel suo *Opus Maius* (1268), affronta numerosissime questioni scientifiche e fa l'apologia della scienza sperimentale, attraverso le opere del vescovo di Lincoln, Roberto Grossatesta, e di quel grande sperimentatore che fu Pierre dei Maricourt, un gran numero di filosofi e di sapienti dell'epoca, pur elaborando delle teorie, si va interessando alle applicazioni pratiche della scienza e non disdegna l'abilità manuale indispensabile agli sperimentatori. In questo movimento spirituale brillano particolarmente i centri di Parigi e di Chartres: ed è da notare che proprio da essi l'architettura gotica prese il suo slancio iniziale.

Abelardo personifica "un atteggiamento di libertà da molti tacciato di essere presuntuoso e pericoloso, addirittura demoniaco, ma che egli giustifica in questi

[26] J. Gimpel, *La révolution industrielle du Moyen Age*, Seuil, Paris 1975, p. 161.

[27] J. Le Goff, *Les intellectuels au Moyen Age*, Seuil, Paris 1957, p. 51 [*Gli intellettuali nel Medioevo*, tr. it. di C. Giardini, Mondadori, Milano 1979].

I CENTRI INTELLETTUALI DEL XII SECOLO (da Le Goff)

‡	*Centro monastico tradizionale*
‡	*Centro monastico letterario (canzoni di gesta)*
‡	*Scuola episcopale urbana*
▪	*Alta scuola urbana*
●	*Centro di traduzione dall'arabo e dal greco*
<u>Paris</u>	*Università nascente*

termini: 'i miei studenti esigevano delle ragioni umane e filosofiche: avevano bisogno di spiegazioni intelligibili, piuttosto che di affermazioni: dicevano che è inutile parlare se non si dà una giustificazione razionale delle proprie parole e che nessuno può credere a ciò che non abbia dapprima compreso'"[28].

Ma la sintesi che in tal modo alcuni tentavano di fare tra la ragione e il cristianesimo doveva urtarsi contro la Chiesa; la reazione, sostenuta dal papa, si ebbe nel corso del XIII secolo: "Basta con le vane problematiche estetiche, basta con le inutili curiosità: Parigi divenne una immensa macchina per ragionare in modo retto"[29].

"Il decreto del vescovo di Parigi, che nel 1277 condanna i 219 errori, mette fine al progresso della scienza e della ragione nel XIII secolo in questa regione dell'Europa"[30]. Questa data, che fu come il segnale d'arresto per tutto quel rigoglio intellettuale che si era manifestato con intensa creatività nel XII e all'inizio del XIII secolo, coincide anche con l'apogeo dell'architettura gotica: in seguito questa architettura non farà che ripetersi, diventerà sempre più elaborata e cadrà infine nel decorativismo.

Duby parla di "scivolamento verso l'estetismo"; egli scrive: "nella seconda metà del secolo, gli artisti della cattedrale francese vanno perdendo, a poco a poco, il loro spirito inventivo...[31] quando ancora inventavano, lo facevano come virtuosi, non più come mistici"[32]. Viollet Le Duc l'aveva già constatato, analizzando proprio le costruzioni: "A partire dal XIV secolo, l'architettura religiosa diventa più o meno uniforme su tutto il territorio sottomesso al potere reale; le piante sono, per così dire, classificate secondo la dimensione degli edifici e seguono, senza molte differenze, le disposizioni e il modo di costruire tipici della fine del XIII secolo"[33].

Così, l'architettura gotica del XII e del XIII secolo è l'espressione di un momento importante della storia di Francia, e appare come l'opera di spiriti particolarmente aperti, innovatori e arditi, che furono favoriti da un ambiente, da un entusiasmo e da una fede propizi a grandi realizzazioni: non deve stupire che essi abbiano saputo ricavare il miglior risultato dalle condizioni di ogni natura entro le quali, in stretta integrazione, si trovarono a lavorare.

[28] G. Duby, *Les Temps des cathédrales*, cit., p. 141.

[29] *Ivi*, p. 173.

[30] J. Gimpel, *La révolution industrielle...*, cit., p. 172.

[31] G. Duby, *Saint-Bernard et l'art cistercien*, N.R.F., Paris 1976, p. 213 [*S. Bernardo e l'arte cistercense*, tr. it., Einaudi, Torino 1982].

[32] *Ivi*, p. 215.

[33] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, I, p. 239.

Energia, tecniche e materie prime

I PROGRESSI TECNICI E LA CRISI D'ENERGIA

Nel 1078 i Turchi sono in Asia Minore: assai meno tolleranti, meno ospitali e meno permeabili degli Arabi, loro predecessori, essi interrompono una delle principali vie commerciali dell'Occidente cristiano: la via della seta e delle spezie. Tutti gli uomini di commercio dell'Europa occidentale ne sono scossi e si mettono presto d'accordo per finanziare quelle vere e proprie spedizioni coloniali che furono le crociate. Lo scopo essenziale è di ristabilire la libertà degli scambi e, approfittando dell'occasione, di mettere le mani su delle importanti agenzie, gli "scali del Levante", così da poter controllare le correnti commerciali di transito.

I grandi signori feudali e la Chiesa non tardarono a vedere l'interesse che avrebbero avuto nel mettere sotto controllo la Terra Santa, importantissima meta di pellegrinaggi verso la quale il flusso dei *charters* dell'epoca – cioè dei vascelli pieni di pellegrini provenienti dalla Francia, dall'Italia e dalla Grecia, e diretti in Palestina – si trovava bloccato per l'arrivo dei Turchi. Non mancarono voci eloquenti e sincere, da Pietro l'Eremita a san Bernardo, che, aggiungendo agli altri motivi anche argomentazioni religiose, si levarono per trascinare le masse verso la buona battaglia: la croce tracciata sulle armature e sulle bandiere dei nuovi pellegrini li assicurava della santità della causa, proprio come, solo pochi anni fa, ii *Gott mit uns* scritto sui cinturoni assicurava i soldati tedeschi. Queste spedizioni avrebbero avuto un peso decisivo nel progresso e nello sviluppo dell'Occidente, poiché, come del resto tutte le guerre, avrebbero stimolato lo spirito inventivo. Non si lesinò, infatti, né sulla ricerca né sui tentativi di applicazione, giacché il fattore "costo" veniva ad essere, una volta tanto, secon-

dario, essendo altissimi i preventivati guadagni delle spedizioni. I contatti con civiltà diverse – e sotto molti aspetti più progredite, giacché avevano raccolto l'eredità di quel crogiolo di varie civiltà e di vari popoli che era il Medio Oriente – contribuirono a portare in Europa una quantità di idee nuove, di tecniche originali, di prodotti sconosciuti, la cui produzione e diffusione non erano protette da alcun brevetto: costruzioni navali, edizilia, armamenti, lavorazione del legno, dei metalli, dei tessuti, del vetro ecc., tutte le tecniche ricevono, in quel momento, come un colpo di frusta. Ma non vi è tecnica senza messa in opera, e quindi senza energia. Nel Medioevo l'energia costituisce un problema cruciale, poiché si è considerevolmente ridotto il numero degli schiavi, i quali, nell'antichità, rappresentavano la principale forza motrice. Ancora in epoca carolingia essi costituiscono una parte notevole della mano d'opera[1]. "Le case dei Grandi ne tenevano interi branchi". Ma nell'XI e nel XII secolo va perdendosi la distinzione fra schiavi e contadini liberi: "Nella seconda metà dell'XI secolo le parole *servus* e *francus*, così come i loro equivalenti, caddero a poco a poco in disuso"[2]. Ciò significa che gli schiavi, da semplici strumenti o cose che erano prima, tendevano a poco a poco a divenire gli "uomini" del signore, anche se questo non migliorava affatto la condizione generale dei contadini. I loro obblighi erano tuttavia sempre più definiti da imposte in denaro, e non più in lavoro o in natura.

In quest'epoca, infatti, la moneta appare, in una certa misura, come uno strumento di liberazione per il contadino.

D'altra parte, la scarsità di popolazione nel X e nell'XI secolo aveva reso sempre più rara la mano d'opera – cioè l'energia umana. In ogni epoca è stata utilizzata, insieme ad essa, anche la forza degli animali, ad esempio facendo macinare il grano da mole tenute in movimento da buoi o da cavalli, come ancora pochi anni fa era possibile vedere in Jugoslavia o in Spagna, oppure da cammelli o da asini, come oggi si può vedere in Marocco ed in Turchia. Ma gli animali del Medioevo, non provenendo da allevamenti selezionati e nutriti com'erano fuori da ogni regola e in libera pastura, non potevano avere una grande forza. Certo, i cavalli avevano gli zoccoli protetti da ferri, secondo un accorgimento che l'antichità non conosceva. Ma per tutto l'Alto Medioevo, proprio come nell'antichità, il rendimento era basso a causa del dispositivo dell'attaccatura. Ai nostri giorni, un cavallo può tirare agevolmente un carico di 500 kg, mentre con un paio di buoi si possono toccare le 5 tonnellate; ma a Roma un regolamento ufficiale fissava in 492 kg il carico massimo che poteva essere tirato da due cavalli o da due muli[3]. La differenza, rispetto alle norme se-

[1] G. Duby, *L'économie rurale...*, cit., p. 100.
[2] *Ivi*, p. 403.
[3] P. Rousseau, *Histoire des transports*, Fayard, Paris 1961, p. 85.

guite oggi anche nella più piccola delle fattorie, è sorprendente. Un tale aumento spettacolare nel rendimento è reso possibile soprattutto nel modo con cui la bestia è attaccata al veicolo da tirare; nell'antichità e poi ancora dopo, finché nel corso del Medioevo non verrà modificato questo sistema, un cavallo doveva portare una sorta di collare che, al momento del tiro, gli impediva la respirazione. Solo verso il X secolo si ebbe l'idea – secondo Lefebvre des Noëttes in Francia, secondo altri a Bisanzio o a Roma, presso i popoli delle steppe orientali secondo gli studi più recenti (che attribuiscono anche a questi popoli la dif-

LA DOMATURA DEL CAVALLO

La sella, la staffa, la briglia e gli speroni permettono al cavaliere di domare più agevolmente l'animale... Osservare i ferri chiodati, che sono scomparsi con la progressiva lastricatura delle strade (disegno di Villard de Honnecourt).

fusione della sella, delle staffe e dei ferri per gli zoccoli) – di sistemare il collare sulle spalle della bestia e di legarlo alla barra del veicolo da tirare: essa concentrava così in un solo punto la forza di trazione esercitata da una parte e dall'altra dalle spalle dell'animale, collocato fra le stanghe che lo obbligavano ad avanzare diritto. Un tale sistema permetteva di attaccare in fila anche molte bestie – fino a 6 e talora fino a 8 – così da totalizzare una potenza assai forte.

Nel XII secolo l'uso di questa bardatura, con qualche perfezionamento complementare, si generalizza, raddoppiando o triplicando la forza di trazione degli animali, sia per muovere meccanismi di varia natura – norie, pompe, gru elevatrici, mole ecc. – sia per trascinare veicoli. L'arte del carradore conosce allora un momento di fortissimo slancio e appaiono uno dopo l'altro numerosi perfezionamenti: ruote a raggi, cerchioni metallici e, un po' più tardi, gli avantreni girevoli.

Il miglioramento del dispositivo di attaccatura permette in campo agricolo, aumentando la potenza sviluppata e il numero degli animali che tirano, di impiegare degli aratri più efficaci, muniti di un versoio e di un vomere regolabili, in grado di penetrare più profondamente la terra e di rivoltarla. Sui terreni piani, l'aggiunta delle ruote renderà inoltre più maneggevoli questi aratri così appesantiti. Abbiamo visto che tali miglioramenti, entrati in uso nell'Europa Occidentale fra il IX e l'XI secolo, contribuiscono ad aumentare le sussistenze, giacché danno la possibilità di mettere a coltura nuove terre più pesanti e più fertili che, fino ad allora, non potevano essere lavorate. L'accresciuta funzionalità dei carriaggi, dovuta a tutti questi numerosi perfezionamenti, permetterà il trasporto di prodotti pesanti; in certe regioni contribuirà anche ad accelerare il disboscamento, facilitando l'esportazione del legname verso le città e i porti. Ma troverà un ostacolo nel cattivo stato delle strade, che ne frenerà per lungo tempo il progresso; lungo le piste rovinate e piene di buche riescono a passare soltanto carri pesanti trascinati da buoi, mentre lungo cammini difficili i cavalli non possono tirare, anche se bardati in modo efficace, che carichi molto ridotti. Per questo conserva ancora un valore fondamentale il trasporto a dorso di cavallo o di asino, con il quale è possibile suddividere in unità di basso carico (quando non vi sia la possibilità di trasporti per via d'acqua) il traffico dei materiali pesanti: legnami, pietre, minerali. Soltanto quando le città si saranno sufficientemente sviluppate, e solo là dove un'autorità centrale sarà stata costituita, si vedranno riapparire le strade carrozzabili, come al tempo dell'Impero Romano.

Ma da sola l'energia animale non può supplire a tutto: essa obbliga a dei servizi di cura – nutrimento, riparo, sorveglianza – che sono pesanti; non solo, ma è anche sensibile alle intemperie e alle malattie. E, quanto all'energia umana, essa trova un limite nella forza fisica degli uomini e, soprattutto, nel numero di coloro che sono disponibili. È dunque necessario cercare altre fonti di energia.

ENERGIA IDRAULICA

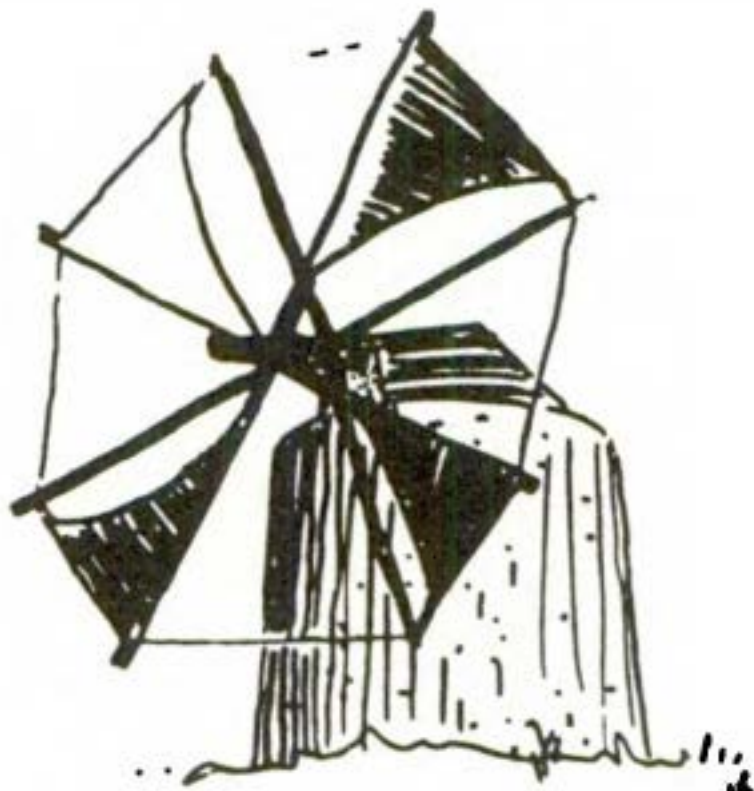
Mulino ad acqua detto "orizzontale" (ad asse verticale), mola montata direttamente sull'asse: spaccato per dritto e per traverso (Isole Orcadi, da Reynolds). Si trovano ancora dei mulini di questo tipo assai primitivo, in particolare nell'Africa del Nord. Il mulino ad acqua classico ad asse orizzontale deriva dalle "norie" che elevano l'acqua per l'irrigazione: il sistema di comando della mola è più complesso che nel mulino ad asse verticale.

Nelle comunità monastiche, in particolare, isolate e alquanto sprovviste di mano d'opera, i monaci si sforzano di evitare i lavori più faticosi; ma essi dispongono di capitali e sono anche più istruiti rispetto alla media: potranno quindi essere all'avanguardia nella ricerca per l'utilizzazione di nuove sorgenti di energia, e costruiranno macchine in grado di facilitare l'uso e la trasformazione delle forze disponibili, come le gabbie di scoiattolo o i paranchi, che si fonderanno sul principio della leva, ma permetteranno anche l'impiego di energie differenti. È l'energia idraulica quella che domina: vanno sviluppandosi considerevolmente i mulini ad acqua forniti di una grande ruota, che già conoscevano, del resto, gli antichi Romani: la ruota, derivata dalla gabbia di scoiattolo, viene mossa da uomini, ma utilizza il peso dell'acqua che agisce su delle pale. I mulini più antichi sono segnalati dopo il VI secolo in Gallia, nel IX secolo in Inghilterra e nel XIII secolo in Scandinavia. Nel 1085, in Inghilterra, se ne contano già circa 5000. Il mulino ad acqua diventa, in quest'epoca, un motore capace di far tutto: mulini per macinare il grano, mulini per sollevare l'acqua, mulini per molare e per arrotare, mulini per battere il ferro, mulini per segare, mulini per battere le pelli, mulini per schiacciare le olive e per fare l'olio, mulini per produrre la carta o per follare i tessuti: sono solo alcune fra le tantissime innovazioni che appaiono fra l'XI e il XIV secolo.

Considerati ancora una straordinaria novità nella Francia del X secolo, i mulini entrarono nell'uso corrente a partire dal XII secolo. Duby riferisce il caso di un quartiere di Rouen dove, fra il XII e il XIV secolo, il numero dei mulini addirittura raddoppiò.

L'energia marina è anch'essa utilizzata sovente: esistono ancora in Bretagna alcuni di quei vecchi mulini a marea del Medioevo che prefigurano l'impianto

di produzione elettrica costruito, ai nostri giorni, nella foce della Rance. Altri mulini simili esistevano a Venezia dopo il 1044[4].

Quanto all'energia eolica, essa è utilizzata nei diversi tipi di mulino a vento caratteristici di ogni regione. Originari della Cina, i mulini a vento appaiono in Persia nel VII secolo e poi nella Spagna musulmana nel X secolo. Soltanto nel XII secolo essi sono segnalati per la prima volta nell'Europa Occidentale cristiana. Alcuni vengono d'altra parte chiamati mulini "turchi", denominazione che indica bene da dove provenga il modello. Vi sono tre tipi di mulini: il mulino a quattro ali dell'Europa occidentale e settentrionale, del quale gli Inglesi reclamano la paternità; il mulino mediterraneo a tele triangolari, quale ancor oggi si può vedere nel Portogallo e nelle isole della Grecia, che sarebbe una derivazione del primo e sarebbe stato importato dai crociati; il mulino orientale, che ha un modello del tutto differente, basato sull'uso di feritoie che concentrano l'effetto del vento sopra delle pale ad asse verticale, e dovrebbe essere originario della Persia. I problemi tecnici, incontrati durante la messa a punto e l'applicazione dei mulini a vento, stimolano lo sviluppo della tecnica degli ingranaggi, così come i progressi della navigazione a vela fanno fare dei passi in avanti alla tecnica delle pulegge, dei paranchi, dei cabestani e, in generale, degli strumenti di sollevamento. Ma i signori laici ed ecclesiastici si affrettano a riservarsi la proprietà dei mulini e a fare su di essi degli investimenti lucrativi, obbligando i contadini a servirsene previo pagamento. Questo vero e proprio sequestro di mezzi di produzione contribuisce a mantenere in vita – spesso in modo clandestino – i vecchi procedimenti di trebbiatura o di macinatura dei cereali: mulini a forza di braccia o ad energia animale. Tali mulini sono d'altronde ancora utilizzati nelle piazzeforti durante gli assedi e sono conservati proprio in vista di simili eventualità. L'esistenza di corsi d'acqua che favorivano la costruzione di mulini ad acqua e, data la loro navigabilità, anche il trasporto degli oggetti pesanti (il quale sarà poi facilitato anche dall'invenzione delle chiuse, i cui primi esempi risalgono al XII secolo), costituisce dunque uno dei principali fattori per lo sviluppo delle città. Queste, d'altra parte, avendo in ogni caso bisogno d'acqua, erano spesso collocate, per ragioni commerciali o strategiche, all'incrocio di una via terrestre e di una via d'acqua, così da poterle controllare entrambe, riuscire ad assicurare gli spostamenti dei carichi di mercanzia da una via all'altra e poter percepire dei pedaggi. Nelle città dell'epoca, i quartieri dei mulini costituivano l'equivalente delle zone industriali nelle nostre città attuali. Seguendo il fiume, inserendosi all'interno della città, prolungandosi al di fuori, queste zone sono intimamente legate all'abitato ed ai suoi vari quartieri: tutte le industrie che utilizzano dei mulini vi sono rappresentate. Alcune fabbricazioni, tuttavia, richiedono delle particolari condizioni: un'acqua di tipo speciale, la vi-

[4] L. White, *op. cit.*, p. 22.

ENERGIA EOLICA

1) Mulino nel Nord della Francia: il modello non è più cambiato dopo il XIII secolo
2) Mulino di tipo mediterraneo, a vele (Obidos, Portogallo)

cinanza di giacimenti o altre necessità. I mulini, insomma, nelle loro diverse forme e con le loro numerose applicazioni, rappresentano in quest'epoca la spettacolare manifestazione di un avvio allo sviluppo industriale, di un avvio alla motorizzazione. Marc Bloch ci descrive questa crescita e questo progresso: "Mulini mossi dall'acqua o dal vento, mulini per grano, per concia, per follatura, segherie idrauliche, martinetti per fucina, collari da spalla, ferrature per bestie da soma, attacchi per il tiro, addirittura arcolai: altrettanti progressi che, in modo uniforme, portavano ad un uso più efficace delle forze naturali, inanimate e non, e di conseguenza permettevano di risparmiare il lavoro umano o, ciò che è più o meno lo stesso, di assicurargli un migliore rendimento"[5].

Non dimentichiamo che, fino agli anni Sessanta, funzionavano ancora in Francia delle installazioni industriali mosse da mulini: soltanto nel 1964 l'ultimo martinetto (mulino a ferro) è stato fermato nella Manifattura di armi e utensili di Klingenthal[6]. Fondata da Luigi XV per mettere fine alla dipendenza in cui si trovava la Francia in materia di armi bianche, essa aveva alimentato le armate della Rivoluzione e di Napoleone. Il mulino da carta di Ambert funziona ancor oggi e la sua produzione di carta di lusso viene commercializzata. Ancora dopo la seconda guerra mondiale parecchie segherie idrauliche funzionavano nel Giura e nelle Alpi francesi; qualcuna sopravvive ancor oggi.

[5] M. Bloch, *La Société Féodal*, 2 vol., Paris 1949 [*La Società feudale*, tr. it. di B.M. Cremonesi, Einaudi, Torino 1977].
[6] O. Lange, in *Horizons d'Alsace*, n. 2, 1967.

Certi mulini ad acqua nel Nord funzionano ancora, sia con una ruota (Wattignies-la-Victoire, St-Martin-d'Hardinghem), sia con una turbina (Wimille, Noyelle-sur-Selle). Nel Nord e nel Pas-de-Calais molti mulini a vento e molti mulini ad acqua sono stati restaurati (Templeuve, Steenworde, Carrel, Fellines, Boeschêpe, Leers, Hondschoote, Villeneuve d'Asq, Terdeghem). Alcuni mulini a vento, come quello di Terdeghem e, fino all'incidente che lo ha bloccato, quello di Coquelles, continuano a funzionare e restano tuttora lo strumento di lavoro dei mugnai. È stata aperta una sottoscrizione per ricostruire il mulino di Coquelles. Mentre nel 1973 funzionavano soltanto due mulini a vento, nel 1976 erano quattro; altri quattro o cinque erano riadattati e stavano per essere rimessi in funzione nel 1978[7].

Ma si cominciò, dapprima, ad usare dappertutto la macchina a vapore, poi il motore a benzina, che consuma combustibili fossili non rinnovabili e spesso trasportati con grandi spese. Poi si è sparsa dovunque l'elettricità, dapprima prodotta dalle centrali idroelettriche, poi, per una parte crescente, con notevoli perdite di rendimento, dalle centrali termiche e infine dalle centrali nucleari. Si è arrivati, insomma, a trascurare e ad abbandonare progressivamente quegli impianti antichi e a dimenticare che soltanto 150 anni fa esistevano installazioni industriali, di considerevoli dimensioni e perfettamente organizzate, che erano mosse soltanto da energia idrica. I musei industriali europei, come quello di Abbeydale, vicino a Sheffield, ne offrono un'immagine un po' artigianale, ma bisogna riuscire a rappresentarsi l'importanza di installazioni come quella che venne realizzata nel 1820 sul fiume di Merrimack: nel 1844 esistevano in questa città industriale undici manifatture, che impiegavano 9000 operai e operaie per la fabbricazione in serie di tela di cotone, ed erano mosse unicamente dalla forza idrica.

Nel libro che nel 1933 dedicò al capitalismo americano, Bertrand de Jouvenel[8] riferiva altri esempi, fra cui quello della cascata di Hedley, sul Connecticut, che era in grado di muovere un milione di fusi per tessitura.

La crisi del petrolio ha già portato, in Francia, a riconsiderare la politica monopolistica e centralizzatrice che s'opponeva alle installazioni idroelettriche fondate sulle "minicascate". E forse torneremo a veder fiorire lungo i corsi d'acqua, sia pure in forme diverse, quegli stessi mulini a vento che, a partire dall'anno Mille, costituirono una delle leve della rivoluzione industriale del Medioevo.

Fra pochi decenni si rimpiangerà di aver lasciato cadere l'immenso potenziale di economia, di energia e anche di esperienza che era rappresentato da quelle installazioni decentralizzate che utilizzavano direttamente, dovunque le condi-

[7] J. Bruggemon, in *Revue du Touring Club de France*, aprile 1978.
[8] B. de Jouvenel, *Le Capitalisme américain*, N.R.F. Gallimard, Paris 1933, p. 32.

zioni naturali lo permettessero, una energia quasi gratuita, e si farà tornare in auge lo sfruttamento di tale energia non inquinante.

Le priorità militari

In qualunque settore le necessità militari passavano davanti alle esigenze civili. "L'Europa medievale diede prova di un talento fino ad allora ineguagliato nel dare sviluppo alle arti belliche"[9].

Il primo perfezionamento decisivo fu dato dalla staffa, che venne importata dagli arabi: Carlo Martello ne intuì l'importanza ai fini dei combattimenti equestri e ne impose l'uso ai propri cavalieri. Il ferro da cavallo chiodato, un'invenzione dei nomadi delle steppe dell'Est, entra nell'uso generale durante l'XI secolo ed è costruito in serie a partire dal XII secolo. Gli scontri a cavallo, per la loro estrema violenza, resero necessari dei considerevoli perfezionamenti nel campo della metallurgia: i mulini da ferro permisero, a partire dal XIII secolo, di realizzare le armature a placche, le quali raggiunsero la propria perfezione proprio nel momento in cui lo sviluppo delle armi da fuoco le rese inutili. Il ferro era, prima di tutto, essenzialmente un metallo militare: non lo si poteva impiegare a scopi civili se non quando era assolutamente insostituibile. Ma anche il legno era, allo stesso modo, l'oggetto di una forte utilizzazione nel campo militare, non solo come combustibile ai fini della fabbricazione delle armi, ma pure come materiale da costruzione. La guerra aveva assunto caratteristiche diverse dopo la fine delle invasioni dei normanni, degli ungari e anche dei saraceni – che si limitavano ormai a delle incursioni sulle coste mediterranee. Obiettivo della guerra feudale era, in particolare, il controllo di quei punti forti che dominavano le province, le città ed i passaggi importanti: si trattava spesso di una guerra d'assedio che richiedeva, oltre ai mezzi di trasporto – carri e rimorchi – essenzialmente in legno, degli strumenti di difesa o d'attacco e delle macchine belliche di cui il legno era, di nuovo, il principale costituente. Possiamo citare, fra gli strumenti di difesa, le *hourds*, cioè gallerie in aggetto collocate in alto sopra le mura (la loro costruzione e successiva sparizione è attestata dai fori che appaiono nelle mura di molti castelli), le massicce armature – in grado di resistere ai proiettili pesanti – che fasciavano le torri ed i passaggi coperti, i ponti levatoi e le passerelle. Fra gli strumenti d'attacco, si possono ricordare le macchine d'assedio, come le scale, le torri mobili, le bastite, i ponti inamovibili, i materiali per scavo e anche le balestre, le catapulte, i mangani e gli strumenti propulsori di proiettili diversi. Nel XIII secolo appare in Europa il trabocco, un'invenzione cinese di cui si vede la prima raffigurazione nel 1004. I

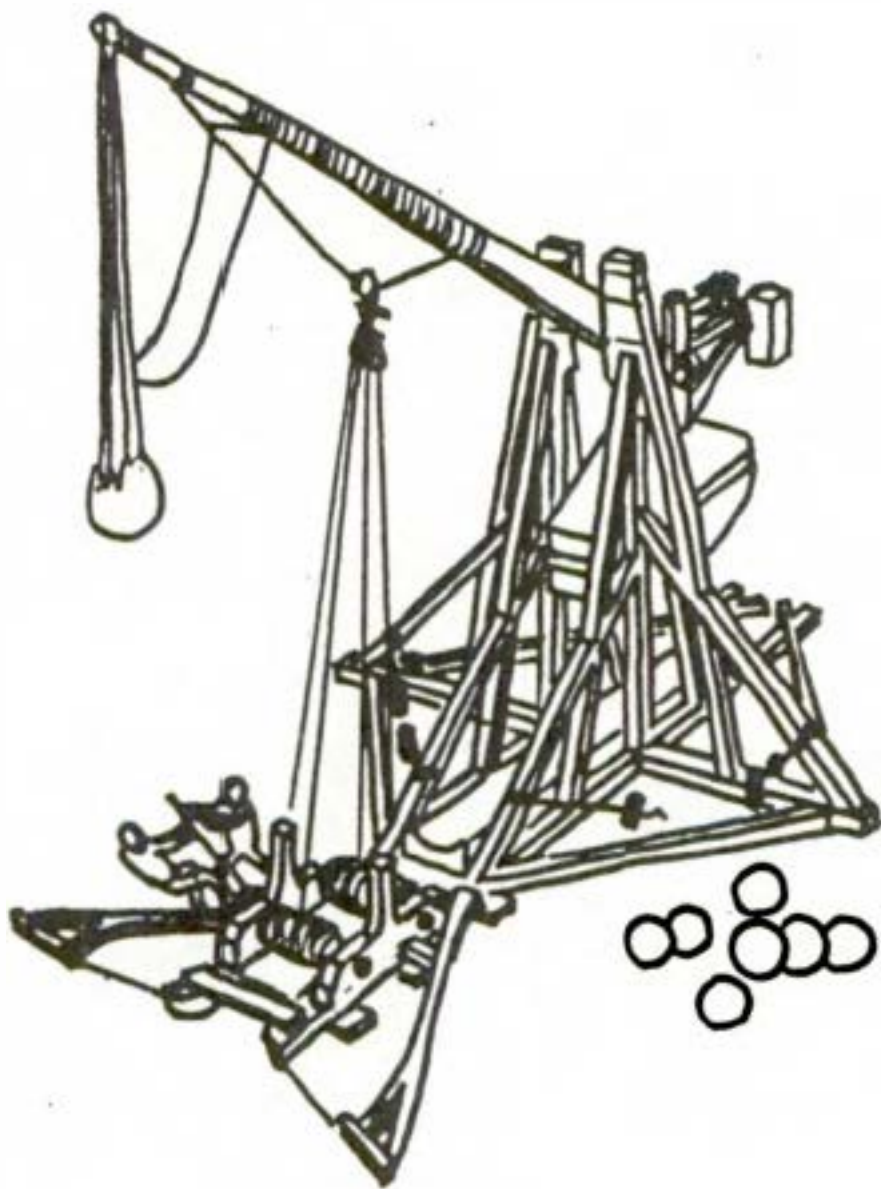
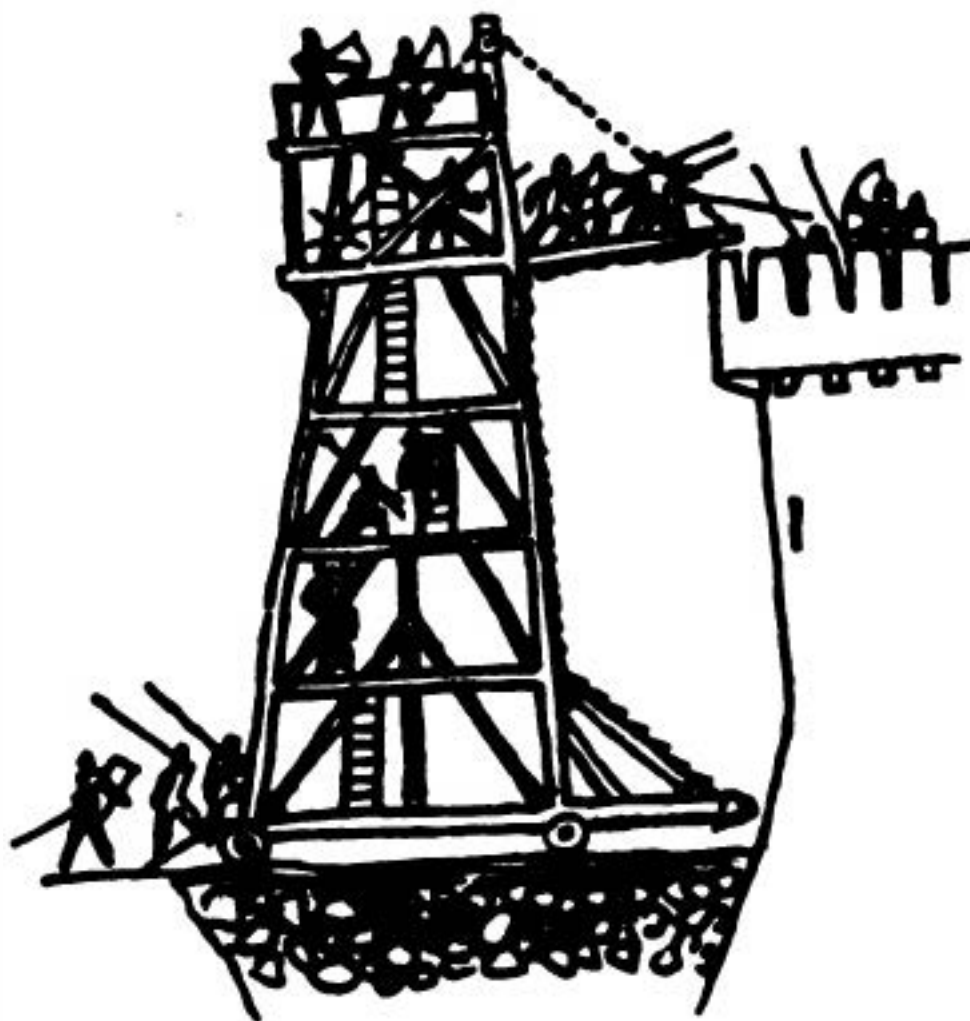
[9] L. White, *op. cit.*, p. 29.

francesi che assediavano Lisbona nel 1147 sorpresero vivamente gli avversari con questa loro arma segreta. Dopo essere stata rapidamente perfezionata, essa soppiantò le armi dello stesso genere ereditate dai romani e diventò uno strumento di grande precisione e talmente potente da far sì che acquistasse importanza la forma stessa dei proiettili in rapporto alla resistenza dell'aria: ciò spiega perché la palla rotonda e calibrata sia apparsa già nel XIII secolo, prima che entrasse nell'uso il cannone, nel XIV secolo.

Queste costruzioni e queste macchine, che potevano essere distrutte rapidamente nel corso di un assedio, richiedevano un legno dalla sezione molto ampia, derivante da alberi di un'età compresa fra i 50 e i 150 anni. Inoltre, come accade ai nostri giorni, si passava sopra a tutto, trattandosi di esigenze militari, quando bisognava procurarsi i materiali necessari: così la costruzione e il rinnovamento degli strumenti bellici portava pesanti conseguenze sul piano ecologico. Le crociate, poi, provocarono una considerevole domanda di legname per le navi, come anche per gli usi militari terrestri e per i trasporti.

La costruzione navale ha un notevole slancio, favorita da un certo numero di perfezionamenti essenziali. È nel XII secolo, in effetti, che si cominciarono ad usare il timone di poppa, capace di garantire una vera navigazione, e la bussola, la cui prima apparizione in Occidente è fatta risalire da Needham al 1187.

In quel periodo, si poteva andare in trentuno giorni dall'Inghilterra in Italia (percorrendo, cioè, 2500 miglia marine). Venivano usate, nel Mediterraneo, delle navi lunghe fra i trenta e i quaranta metri: Joinville parla addirittura di navi in grado di portare 888 uomini, che dovevano stazzare 1500 tonnellate. Dalla funzione fra la *kogge* nordica, un'imbarcazione corta, panciuta e arrotondata, fornita di timone, e la nave mediterranea, nasce la caracca: duemila tonnellate di stazza e sessanta metri di lunghezza[10]. Ed entro breve tempo – nel XV secolo – delle navi a tre alberi solcheranno i mari. Anche la cartografia fa progressi, come dimostrano le *Tavole Alfonsine*, pubblicate nel XIII secolo per i navigatori portoghesi. Le forti perdite subite, durante le prime crociate, negli spostamenti per via di terra, spinsero a preferire la via marittima: i grandi armatori, soprattutto i Veneziani, videro tutto l'interesse che sarebbe potuto derivare da una organizzazione razionale dei carichi delle navi; durante l'andata si trasportavano crociati o pellegrini, ma poiché costoro effettuavano il viaggio di ritorno in numero più ristretto – alcuni, infatti, avevano preso dimora in Terra Santa e molti altri erano morti nei combattimenti – rimaneva anche molto spazio per caricare, durante il ritorno, numerosi prodotti dell'Oriente, che i mercanti avrebbero poi venduto, con enormi guadagni, in Occidente. E, in mancanza di crociate, si potevano comunque trasportare all'andata dei legnami, una merce di cui il mondo musulmano era un forte importatore, o anche delle armi,

[10] P. Rousseau, *op. cit.*, p. 125.

1

2

UTILIZZAZIONE DEL LEGNO

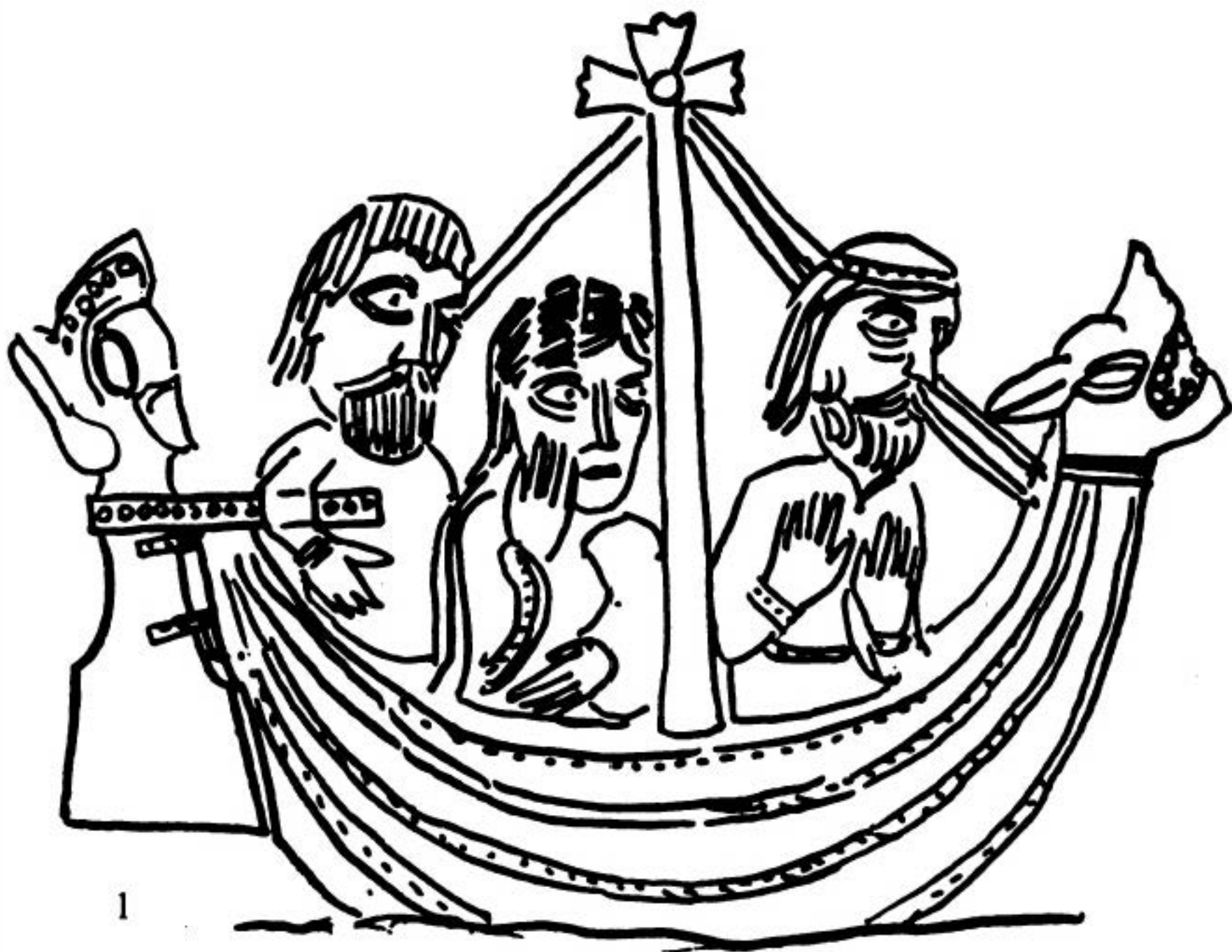
1) Trabocco

2) Torre d'assalto mobile, o battifredo, con ponte levatoio: non sono raffigurate le protezioni laterali (disegni secondo la ricostruzione di Viollet le Duc)

che i commercianti dell'epoca non esitavano a vendere in tutti i campi e in tutti i paesi.

Non risulta che l'utilizzazione del legname da parte dei musulmani abbia mai portato a classificare definitivamente questo materiale fra gli oggetti di rilevanza strategica e a bloccarne così l'esportazione, malgrado lo stato di quasi continua belligeranza fra i musulmani e l'Occidente. Anche se gli interessi commerciali passavano, di solito, davanti a tutto, è possibile, tuttavia, riferire qualche esempio di segno contrario. Così, nel 972, il doge di Venezia vietò la vendita di legname e di armi ai Saraceni, su richiesta dell'imperatore di Bisanzio; ma bisogna aggiungere che in quell'occasione Venezia ottenne da quest'ultimo sostanziosi vantaggi[11]. Dopo la vittoria sugli Egiziani della flotta veneziana, nel 1123, i cristiani imposero un embargo sulle esportazioni di legname, al fine di impedire ai musulmani di ricostruirsi una flotta; tale misura fece molto comodo ai veneziani e ai pisani, che riuscirono ad assicurarsi, in quell'epoca, il monopolio del commercio con i musulmani, compreso pure il trasporto di pellegrini dall'Africa del Nord diretti alla Mecca... Ma l'embargo sul materiale bellico, unica restrizione imposta a questo commercio, fu infranto parecchie volte: nel 1154, ad esempio, Pisa detta al sultano del materiale vietato. Senza alcun dubbio, un simile commercio doveva far guadagnare molto, sia che si trattasse di legname, sia che si trattasse, più specificamente, di materiale "da guerra". Ci si può anche domandare quali potessero essere i sentimenti di un crociato che riceveva i proiettili scagliati da una balista fatta con legname di esportazione, o che era attaccato da navi saracene costruite con quelle querce che già cominciavano a mancare, in Occidente, per erigere le case e le cattedrali. Le esportazioni di armi e, in particolare, quella delle spade, che rimase per lungo tempo una specialità dell'Occidente, continuavano in ogni caso verso il Medio Oriente e non erano molto disturbate neppure dagli scontri armati, proprio quando l'Europa Occidentale era tutta impegnata a difendere il reame Franco di Palestina contro i vicini popoli musulmani. Questa situazione non è limitata, del resto, soltanto al Medioevo e i confronti con altri tempi si impongono da soli. I militari, in conclusione, non meno dei civili, contribuirono a ridurre il capitale di legname dell'Occidente.

Ma le esigenze militari avevano delle conseguenze anche in altri settori, e non soltanto in materia di ferro e di legname; erano infatti molto frequenti, allora, le requisizioni di uomini. Nel 1244, ad esempio, gli operai di Alès furono requisiti per lavorare a Aigues-Mortes. Si ha motivo di ritenere che il formidabile torrione di Coucy, eretto molto rapidamente già nel XIII secolo, sia stato costruito da una mano d'opera requisita. Questo edificio, infatti, eseguito in termini di

[11] R.H. Bautier, *The Economic Development of medieval Europe*, Thomas Hudson, London 1971, p. 65.

CRESCITA DEGLI SCAMBI

L'invenzione del timone di poppa permise lo sviluppo della navigazione a vela.
1) Disegno tratto da un bassorilievo della cattedrale di Winchester, XIII secolo (citato da Brooke)
2) Disegno tratto da un sigillo della città di Elbing, 1242 (citato da Le Goff)

tempo ristrettissimi, mostra chiaramente di essere stato realizzato con un lavoro ininterrotto, svolto in maniera molto accurata sempre dagli stessi operai dall'inizio alla fine, come è provato dalle marche dei cottimisti. Viollet le Duc, che riuscì a rilevarle, calcolò che per tale costruzione vennero impiegati, soltanto per il lavoro murario, 800 operai contemporaneamente, e in totale, per l'intero insieme della lavorazione, un numero doppio di uomini, considerando i carpentieri, i fabbri ferrai, gli idraulici, i piastrellai, i falegnami e gli imbianchini[12]. La fortezza di Château Gaillard fu costruita in un anno soltanto da Riccardo Cuor di Leone, nonostante le proteste dell'arcivescovo di Rouen (al quale apparteneva la città degli Andelys) e dello stesso papa, spinto dal re di Francia.

Allo stesso modo, per costruire macchine da guerra, per fare scavi, per rinforzare le difese, per erigere fortificazioni o navi o ponti, si requisivano degli specialisti. Bisognava anche portame alcuni nelle operazioni belliche, e pure nelle crociate, poiché allora non vi era un esercito professionale e non esistevano quindi delle unità del genio. Zappatori, guastatori, pontieri, carpentieri erano tutti dei civili ingaggiati o requisiti: tutta una mano d'opera qualificata che veniva sottratta ai grandi cantieri.

Insomma, come succede anche ai nostri giorni, quando si trattava di obiettivi militari non difettavano i mezzi per realizzarli nel più breve termine di tempo; ma ciò, tuttavia, non facilitava certo la costruzione delle cattedrali, quasi tutte già erette a fatica e con mezzi che bisognava economizzare e incessantemente ritrovare, rinnovare e improvvisare, nel corso di molte generazioni. Lo stesso contrasto si può riscontrare sovente nella qualità stessa delle opere: "I tipi di malta normalmente usati, durante il XII secolo e all'inizio del XIII, nelle chiese e nella maggior parte delle costruzioni religiose, sono cattivi, privi di corpo e mescolati in modo ineguale; spesso addirittura manca la sabbia, che sembra essere stata sostituita da polvere di pietra. Al contrario, la malta, impiegata in quest'epoca, come anche prima e come del resto in seguito, nelle costruzioni militari, è eccellente e vale spesso quella usata dagli antichi Romani. Lo stesso può dirsi dei materiali. Le pietre usate nelle fortificazioni sono di qualità superiore, ben scelte e sfruttate alla grande: nella maggior parte delle costruzioni religiose, invece, l'uso delle pietre rivela una grande negligenza, oppure una triste economia"[13].

In compenso, come accade oggi in molti campi, le applicazioni militari, potendo beneficiare della priorità dei mezzi, facevano avanzare il progresso tecnico. Un architetto inglese può così riconoscere, per quel che riguarda il suo paese: "Paradossalmente, è all'ammirevole logistica appresa dai Normanni du-

[12] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, IV, p. 263.

[13] *Ivi*, IV, p. 261.

rante le loro campagne militari che noi dobbiamo la nascita delle grandi cattedrali e lo sviluppo di una industria della costruzione che ha fornito il modello dell'industrializzazione moderna"[14].

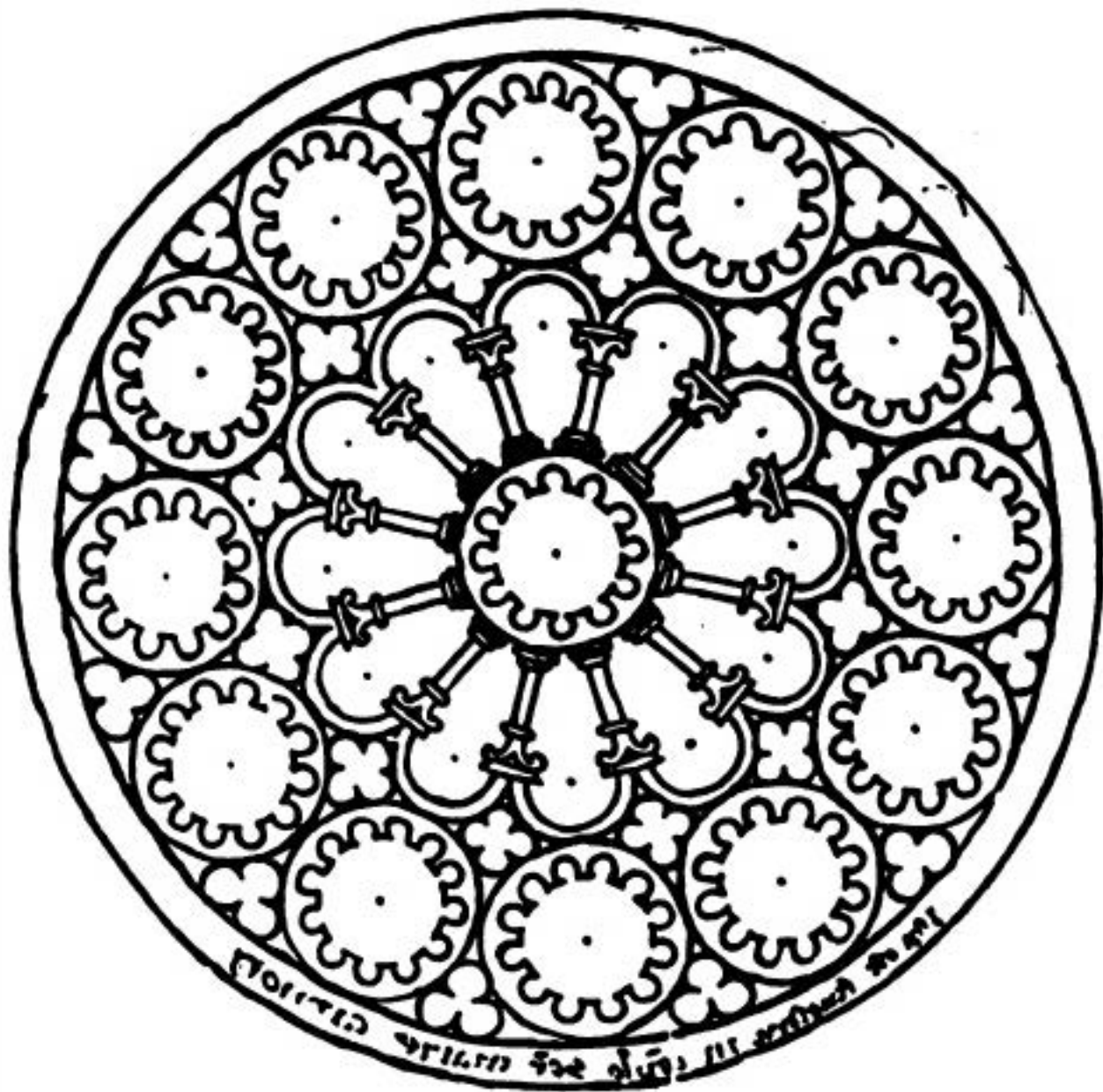
LA CONQUISTA DELLA LUCE

Che al contatto con popoli più raffinati i costumi domestici e il benessere dei ricchi vadano migliorando, che si sviluppi l'uso del camino, dell'acquavite, dei tessuti, della lana e della seta, tutto questo non ha, per l'argomento che qui ci interessa, tanta importanza quanto altri progressi; è infatti in questo momento che appare l'illuminazione senza fumo – candela o cero – sostituendo la torcia resinosa o la lampada ad olio: la lettura, lo studio, il disegno, il lavoro creativo, la preparazione delle piante e le ricerche architettoniche ne risultano, nel nostro paese, considerevolmente facilitati. Anche l'invenzione degli occhiali contribuirà a rendere più agevoli queste occupazioni.

Ma ancora – e non è certo meno importante – si può finalmente vedere chiaro dentro le case, d'inverno come d'estate, senza temere il freddo e le intemperie. Si va sviluppando, infatti, l'industria del vetro piatto, bianco o colorato; le finestre cessano di essere strette feritoie, chiuse soltanto dalle loro imposte e spesso da tele oleate assai poco trasparenti, e diventano delle efficaci sorgenti luminose. "Il progressivo ingrandimento delle finestre è uno dei tratti caratteristici della evoluzione dell'architettura gotica"[15].

I gotici non inventarono il materiale, giacché l'arte del vetro è una eredità che proviene loro dagli antichi Romani; ma essi, nell'architettura civile come in quella religiosa, furono i precursori dei "muri di vetro" di oggigiorno.

Per secoli, il vetro era rimasto un lusso nella costruzione e si possono trovare solo rari esempi di una sua utilizzazione. La leggenda racconta che san Vilfredo, nella seconda metà del VII secolo, si servì del vetro per restaurare la chiesa di York[16]: in quell'epoca, per trovare del vetro, si andava in Gallia. In Inghilterra, la tela oleata per le finestre resta d'uso comune ancora nel XIII secolo, ma già il vetro comincia ad espandersi: il re Enrico II d'Inghilterra, nel 1243, fa sostituire con dei vetri le tele oleate sulle finestre della cancelleria. Nel 1238 si ordina, a Westminster, di collocare un vetro su una finestra con inferriata, "per evitare le correnti d'aria". Si è ritrovato il contratto stipulato nel 1240 dal Decano del Capitolo di Chichester con un vetraio, per la manutenzione annuale dei vetri, al prezzo di tredici scellini e quattro *pence* per anno. Nel 1250

[14] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, Batsford, London 1974, p. 48.
[15] M. Aubert e J. Verrier, *L'architecture française à l'époque gothique*, Paris 1953.
[16] F. Salzman, *Building in England down to 1540*, Claredon, Oxford 1967, p. 173.

ARCHITETTURA DI LUCE
Rosone gotico (disegno di Villard de Honnecourt).

troviamo la menzione di "finestre vetrate che s'aprono e si chiudono" in molte costruzioni inglesi (Sherborn castle, Guilford, Northampton...)[17].

È tale il successo di questo nuovo elemento di comodità che nel XIII secolo i cistercensi, in reazione ad un simile "lusso" – e ciò prova quanto fosse oramai diffuso – vietano l'utilizzazione del vetro nelle loro chiese.

Dal XII al XIV secolo l'industria del vetro conosce un notevole sviluppo. Vengono costruite delle vetrerie nei pressi delle foreste, per alimentare le costruzioni delle città. La crescita produttiva è resa possibile dal perfezionamento dei sistemi di soffiatura e anche da una migliore utilizzazione dei combustibili che, legata al progresso della metallurgia, permette di portare più facilmente il vetro allo stato fuso. "Si costruirono delle vetrerie nelle regioni boschive, in vicinanza dei monasteri e delle città: la Francia ne conta venticinque fra il 1207 e il 1497... A partire dal 1373 vi fu a Norimberga una corporazione di vetrai, e la loro attività industriale era considerata una delle poche che potesse essere esercitata da un gentiluomo"[18]. Perché si potesse così derogare ai pregiudizi potenti

[17] *Ivi.*

[18] P. Rousseau, *Histoire des techniques*, Fayard, Paris 1956, p. 99 [*Storia della tecnica*, tr. it. di N. de Pamphilis, aggiornamento e note di V. Gambi, Edizioni Paoline, Vicenza 1960].

che vietavano ai nobili i lavori artigianali, bisognava che ci si trovasse davanti ad una industria davvero molto remunerativa e ricca di sbocchi importanti.

D'altra parte, fin dalla seconda metà del XIII secolo, entrano nell'uso corrente i vetri ottici: un regolamento di Venezia del 1284 riguarda i fabbricanti di occhiali. Si comincia ad usare anche il vetro in funzione di recipiente: in Italia lo si costruisce a partire dall'XI secolo, mentre in Francia la prima "officina" di vetro per bottiglie è creata nel 1290 a Quiquengroigne, nell'Aisne.

Ma anche l'arte delle vetrate viene sviluppandosi (e in particolare in Francia) a partire dall'XI secolo, come è attestato dal trattato del monaco Teofilo, *De diversis artibus*, prima opera di argomento tecnico del Medioevo. Tagliati con ferro rovente, i pezzetti di vetro di colori differenti vengono incastonati entro un telaio di piombo, così da formare un mosaico luminoso; successivamente, però, lo sviluppo della pittura su vetro snaturerà il vigoroso stile originario, mescolando molti colori su uno stesso frammento di vetro.

Questo amore del colore, i gotici lo manifesteranno in molti modi anche nella maggior parte delle loro cattedrali, che essi vogliono largamente illuminate; le pietre, visibili oggi da ogni parte, rivelano rozzezze di dettaglio, ma allora esse scomparivano dietro rivestimenti, pitture e tutta una decorazione dalla cangiante luminosità. L'ascetismo cistercense, come avrebbe fatto più tardi l'influenza della Riforma e dei giansenisti, più vicina alle concezioni funzionaliste moderne che esaltano il materiale apparente e addirittura allo stato bruto, riuscì in ultimo a trionfare contro la luminosità colorata e rutilante che colmava le cattedrali urbane, tutte brillanti d'oro e di materie preziose.

Oggigiorno un simile ambiente colpirebbe sgradevolmente, se non il gusto della maggior parte dei nostri contemporanei, certo almeno quello della maggior parte nostri esteti... Già san Bernardo, che in questo si opponeva a Cluny, criticava la luminosità dell'ambiente gotico; ma essa era cara a quasi tutti gli uomini dell'epoca, meno intellettuali e meno asceti di lui, come ad esempio a Suger, per il quale lo sforzo di arricchire l'arredamento della chiesa di Saint-Denis è continua tensione di ogni istante. Gli episodi favorevoli sono da lui considerati come dei miracoli attestanti l'approvazione divina: che un lotto di pietre preziose giunga a buon mercato fra le mani del buon abate è per lui la prova di essere sulla strada buona e il segno che nulla è troppo bello per i suoi santi padroni – non dispiaccia questo a san Bernardo. "Suger proietta una luce trasmutata attraverso le vetrate multicolori, incarna nell'edificio una filosofia della volontà, e tutta la generazione gotica, dietro di lui, si slancia verso questo fascinoso ideale. La pietra preponderante e dura scompare dietro le evanescenze del vetro mutevole"[19].

[19] R. Oursel, *Invention de l'architecture romane*, Zodiaque, Paris 1970, p. 459.

Suger, il cui racconto esalta lo splendore della luce e del colore che vengono fatti entrare nella chiesa, ci spiega, per ciò che concerne le vetrate[20]: "che egli aveva cercato con estrema cura i costruttori di vetrate e i creatori di vetri fatti coi materiali più squisiti, cioè con zaffiri in grande abbondanza polverizzati e fusi nel vetro per dare ad esso il colore azzurro, cosa che veramente lo rapiva in ammirazione; che egli aveva fatto venire a questo scopo dalle nazioni straniere i più sottili e i più squisiti maestri, per creare tutti i vetri dipinti della chiesa, da quelli della cappella della Vergine, nell'abside, a quelli sopra la porta principale, nell'entrata".

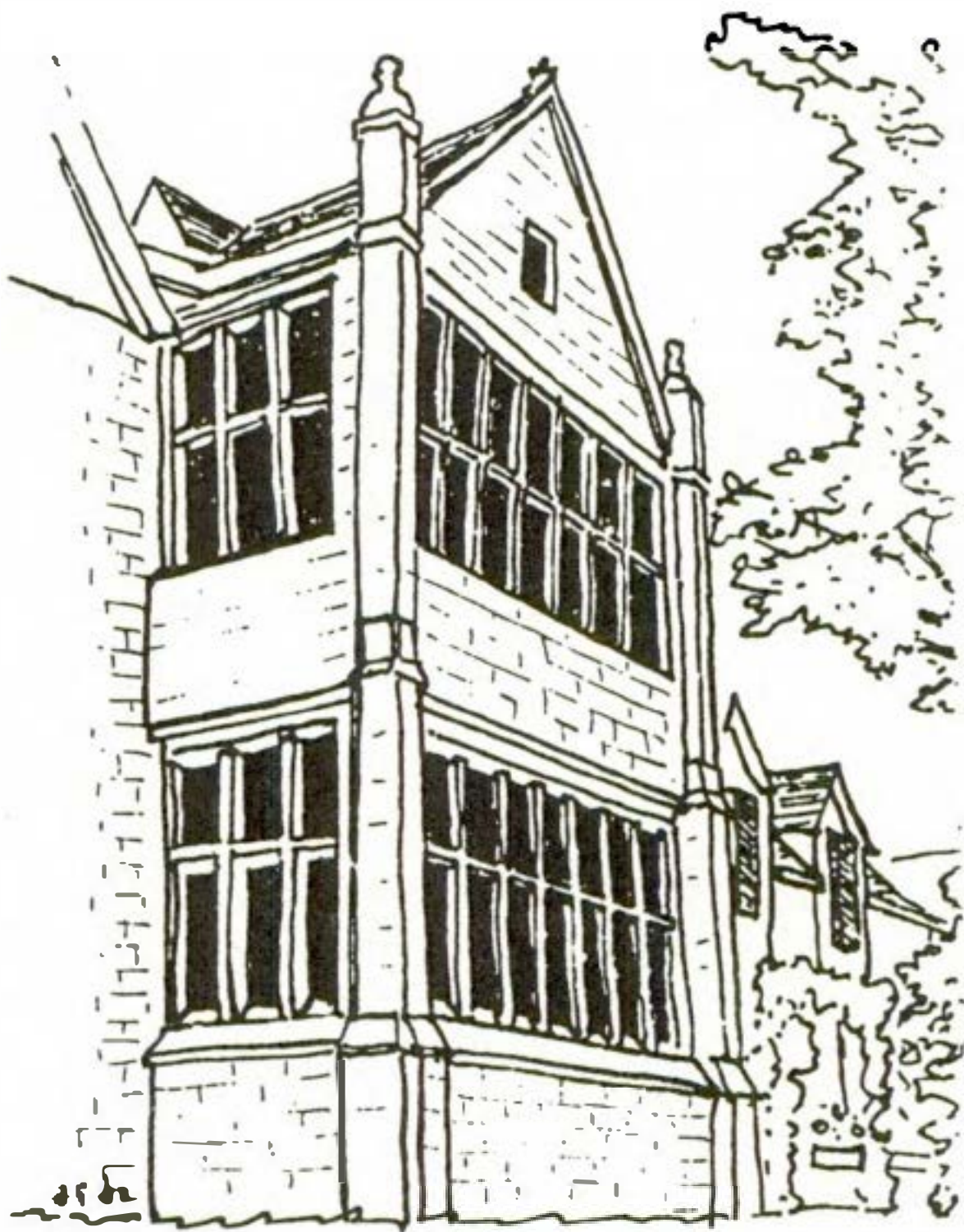
Egli aggiunge "che aveva messo a capo di quest'opera un maestro dell'arte espertissimo e dei religiosi, i quali fossero pronti per ogni necessità, seguissero gli operai e fornissero loro al momento opportuno tutto ciò che potesse occorrere. Questi vetri gli costarono molto, a causa dell'eccellenza e della rarità delle materie di cui erano composti".

Ma Suger precisa anche "che la devozione, quando egli faceva fare questi vetri, era tanto grande, sia fra i nobili sia fra i più umili, che egli trovava il denaro in grande abbondanza nelle cassette delle elemosine, a tal punto che ve n'era quasi abbastanza per pagare gli operai alla fine di ogni settimana". Così, promotori intelligenti come Suger sapevano trasformare le loro vetrate in meravigliosi veicoli pubblicitari, grazie ai quali riaffluiva il denaro per costruire la chiesa: era insomma una prefigurazione, sia pure meno prosaica, dei nostri attuali musei, dove si paga per ammirare i capolavori. Ancor oggi, del resto, in molti paesi dove non esiste una cassa centralizzata dei monumenti storici, come ad esempio in Inghilterra, i visitatori partecipano volentieri, e spesso generosamente, ai lavori di rifacimento o di abbellimento degli edifici religiosi.

Il ferro, metallo prezioso

Nella Babilonia del tempo di Hammurabi, verso il 2000 avanti Cristo, il ferro – la cui apparizione aveva modificato i rapporti di forza fra i popoli del Medio Oriente – costava i 3/4 del prezzo dell'oro e otto volte quello dell'argento.

Questo metallo è tuttavia ancora raro nel Medioevo: poco abbondante al tempo di Carlo Magno (come rivela il sentimento di stupore e di terrore provato dal re dei Longobardi, Desiderio, alla vista dei soldati di Carlo Magno, tutti bardati di ferro, che irrompevano sotto le mura di Pavia), lo è ancora nel XIII secolo. È l'epoca in cui, nella sua enciclopedia, il francescano Bartolomeo Anglico può affermare che questo metallo è più utile dell'oro, giacché, come egli

[20] Abate Suger in E. Panofski, *Abbot Suger on the abbey church of St. Denis and its tresaures*, Princeton, 1946.

ARCHITETTURA DI LUCE
Casa gotica in pietra (Salisbury, G.-B.).

scrive, "ogni lavoro manuale richiede l'impiego del ferro, senza il quale nessuno potrebbe coltivare la terra o costruire una casa"[21].

Grazie agli scambi commerciali e militari intervenuti con i musulmani, eredi di tecniche che a loro volta essi avevano trovato in Oriente, la metallurgia in quest'epoca compie notevoli progressi, sollecitata anche dalle necessità belliche (per le quali principalmente viene riservato il ferro), soprattutto in occasione delle grandi spedizioni coloniali dell'XI e del XII secolo. Ma solo nell'epoca successiva la nascita delle armi da fuoco causerà delle trasformazioni decisive e porterà, in particolare, ad un aumento del consumo del ferro: esso non mancherà di avere conseguenze ad ogni livello produttivo, obbligando a sviluppare tecniche nuove e a cercare nuovi combustibili, come ad esempio il car-

[21] J. Le Goff, *La civilisation...*, cit., p. 259.

bone. Nell'XI e nel XIII secolo il ferro viene ancora ottenuto per riduzione del minerale ferroso attraverso la combustione di carbone di legna, attivata da ogni sorta di dispositivi di soffieria. Le fucine vengono spesso costruite in vicinanza delle sorgenti di combustibile.

Ma, nonostante un inizio di concentrazione, là dove i minerali ferrosi sono di facile sfruttamento o dove dei centri di fabbricazione molto rinomati (come Solingen, Passau, Toledo) si trovano in prossimità di regioni boschive, le fucine sono sparse un po' dappertutto. Tale decentralizzazione, legata alle condizioni sociali e politiche e alle difficoltà degli scambi, non è senza analogia – nel quadro di una società a predominanza rurale, dove è imperativa la necessità di produzione delle sussistenze – con l'odierna politica di sviluppo dei piccoli forni nelle campagne cinesi. Ma queste fucine, che erano grandi consumatrici di combustibili, contribuirono al disboscamento, soprattutto intorno a quelle città in cui la domanda di ferro era più forte e il commercio più attivo.

Il ferro, tuttavia, resta difficile da trovare e assai caro. Abbiamo numerose informazioni sui prezzi che in quell'epoca venivano attribuiti agli strumenti di ferro. San Benedetto consacra tutto un articolo della sua regola alle cure che bisogna avere nell'usare gli strumenti di ferro – i quali non devono essere affidati se non a monaci accorti e sicuri. Anche qui, come in materia di legno da costruzione, l'agiografia reca la propria testimonianza; è normale vedere, nella letteratura e nell'iconografia del Medioevo, l'intervento di un santo a motivo della perdita di uno strumento di ferro. Ad esempio, in un aneddoto della *Légende Dorée* e su una miniatura della Bibbia del re Venceslao di Boemia, si ritrova questo miracolo, già operato nell'Antico Testamento dal profeta Eliseo e nel Medioevo attribuito ora a san Benedetto, ora a Salomone, grande maestro della tecnica: il ferro dello strumento, che l'artigiano ha lasciato cadere nell'acqua, risale alla superficie e torna alla portata delle mani dell'uomo. Altra prova[22]: le pene esemplari che nell'XI secolo, in Normandia, erano previste per il furto degli aratri, le cui parti metalliche erano difficili da sostituire. Gli strumenti per l'agricoltura sono invece di legno e sono armati di ferro solo nei punti essenziali: i rari utensili di ferro sono destinati per il lavoro del legno e per la fabbricazione degli strumenti. In epoca carolingia, i fabbri erano così pochi che venivano messi sullo stesso piano degli orafi: il Capitolare *De Villis* prescrive di recensirli con cura. Comunque, i fabbri lavoravano essenzialmente per i bisogni militari.

Lo stesso accade durante l'epoca gotica: "Della scarsa produzione di ferro del Medioevo, la parte più grande è destinata all'armamento"[23]. Ma la strumenta-

[22] *Ivi*, p. 260.
[23] *Ivi*.

zione di ferro, nell'XI e nel XII secolo, va diffondendosi nel campo della lavorazione della pietra e va migliorando in quello della lavorazione del legno.

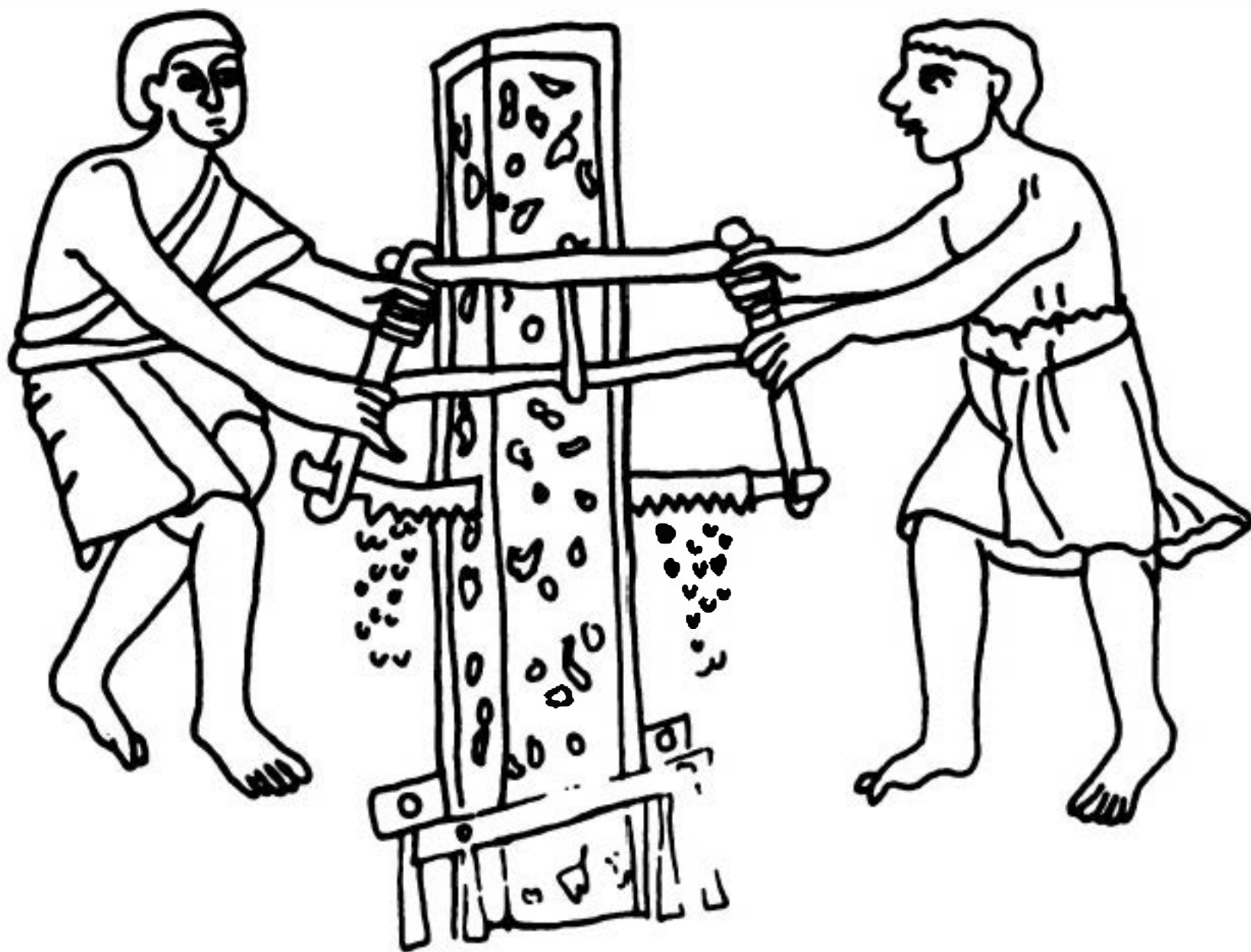
"Nelle cave del Ponthieu o in quelle vicine a Cambrai, seghe da pietra sostituirono le mazze da frantumazione dei tempi antichi. Asce e seghe perfezionate resero più facile l'abbattimento degli alberi, e quindi la possibilità di fare indietreggiare le foreste"[24].

In certe regioni delle Alpi è talmente notevole lo sviluppo delle seghe idrauliche che esso è considerato come la causa primaria del disboscamento. Il fatto è che proprio a quest'epoca risalgono dei decisivi perfezionamenti nella lavorazione del ferro. Nel 1104, per la prima volta in Occidente, in Catalogna, viene fatta menzione di un mulino da ferro. Questi mulini, insieme ad un perfezionato procedimento di tempra, ad una fusione fatta con carbone e legna (e spesso con carbone fossile, per mancanza di legna) e a leghe migliori, garantivano al ferro dell'Occidente una più alta qualità. Gia nel IX secolo[25] le spade "franche" erano una merce di esportazione verso i paesi musulmani.

Sarebbero stati però gli arabi, secondo alcuni autori, ad aver trasmesso verso l'Occidente le tecniche indiane che erano alla base del famoso "acciaio di Damasco": la ricetta sarebbe stata portata nella Spagna occupata e poi nel resto dell'Occidente che, essendo più ricco di combustibili, poteva sviluppare con minori difficoltà un'industria degli armamenti. E successivamente – come abbiamo visto – anche nell'acme delle guerre e delle crociate, il commercio delle armi proseguirà, nonostante diversi tentativi d'imporre un "embargo" su questo genere di mercanzia.

Tutto questo non era però sufficiente per fare del ferro un materiale economicamente abbordabile per gli usi civili. Nell'edilizia, in particolare, le tecniche di costruzione dovettero tenerne conto: chiodi, ferrature, tiranti e catene erano evitati, oppure economizzati il più possibile; uno dei punti essenziali dell'arte del carpentiere era costituito dalla ingegnosità di commettere insieme legno su legno. Il ferro era riservato per gli impieghi indispensabili, cioè essenzialmente per la strumentazione e, in particolare, per quella destinata alla lavorazione del legno e della pietra.

Ma la necessità di dover rinunciare al ferro per commettere insieme i legni di armatura obbliga anche – cosa che è di solito ignorata – ad un consumo supplementare di legname: alcuni elementi di legno, infatti, che hanno nelle commettiture i loro punti deboli, solo per questo motivo devono avere delle sezioni più forti di quanto sarebbe necessario se si potesse far ricorso, in modo razionale, ad elementi di commettitura metallici.

[24] G. Fourquin, *op. cit.*, p. 406-407.
[25] *Ivi*.

Sega per tagliare il marmo in lastre (da Bibl. di Montecassino).

Soltanto a partire dal XIV secolo l'utilizzazione del ferro va estendendosi nel settore civile, grazie allo sviluppo della tecnica della soffiatura (il primo vero altoforno risale al 1380, ma già nel 1323 è menzionata una fucina fornita di soffierie idrauliche) e al perfezionamento delle tecniche di prospezione e di estrazione. La fabbricazione di punte e di chiodi di ogni dimensione va sviluppandosi: è stato osservato, infatti, che i magazzini di Calais, nel 1390, ne avevano in deposito uno stock di quasi mezzo milione di pezzi[26]. Questa crescita dell'industria del ferro e, più in generale, dell'industria basata sui giacimenti doveva contribuire a sviluppare l'economia dell'Europa Centrale e dell'Inghilterra, di contro a una Francia che rimaneva una grande potenza agricola e demografica.

I perfezionamenti nella qualità del metallo sono dovuti, in massima parte, alle esigenze militari. Ma l'arte della forgia, associata fin dall'antichità alle potenze infernali e fino ad allora circondata da un'aura di mistero e di timore – arte stregonesca e quasi demoniaca, essenzialmente al servizio della guerra e della morte –, comincia a diventare, nel XII secolo, una tecnica corrente, indispensabile in qualunque agglomerato urbano.

[26] J. Gimpel, *La revolution...*, cit., p. 39-41.

Furono le capacità professionali dei fabbri ferrai, artigiani essenziali di ogni cantiere, a rendere possibile la sempre crescente utilizzazione della pietra, giacché senza di loro non si sarebbe riusciti a tagliare quelle grandi quantità di pietra che erano richieste dai programmi di costruzione degli architetti gotici. Fu così possibile passare da un tipo di costruzione ancora principalmente in legno alla costruzione in pietra. Dapprima considerata come un lusso riservato alla casa di Dio o al castello del signore, la costruzione in pietra si estende ben presto alle dimore dei ricchi borghesi e alle fortificazioni delle città.

Per quel che riguarda la lavorazione del legno, lo sviluppo della fabbricazione e dell'uso delle seghe (e in particolare delle seghe idrauliche), nonché il perfezionamento dei molti altri strumenti di ferro, ebbe una precisa influenza sulle tecniche di carpenteria, permettendo non solo di migliorare i sistemi di commettitura, ma anche di utilizzare dei legni di minore sezione senza aumentare troppo il costo, che sarebbe stato invece molto alto se, per tagliare i pezzi, fosse stato necessario un lavoro artigianale di lunga durata. Finché si preparavano i legni soprattutto spaccandoli con l'accetta, si cercava di utilizzare preferibilmente del legname di grande sezione. Ciò causava minori perdite, ma obbligava ad adottare la soluzione di capriate massicce, separate le une dalle altre dalla massima distanza tollerabile per degli "arcarecci" di grande sezione. Tale soluzione architettonica corrispondeva non soltanto alle possibilità offerte dalla produzione forestale, ma anche a una ben precisa tecnica di taglio e all'uso di una determinata strumentazione.

Il perfezionamento delle seghe permise di cominciare ad usare sempre più spesso delle piccole sezioni, degli assi e dei tavolati di legno: ma bisogna pensare anche che la rarefazione ed il rincaro dei legni di grossa sezione abbiano stimolato l'ingegnosità dei tecnici del tempo nella ricerca di soluzioni pratiche ai diversi problemi che si ponevano e nel miglioramento degli strumenti per tagliare, segare e spaccare.

Una risorsa minacciata: il legname

"Il Medioevo è il mondo del legno. Il legno è allora il materiale universale"[27]. Ma è innegabile e attestato da documenti di ogni tipo che ci fu, a partire dal XII secolo, una penuria di legno di grande sezione, la quale rivelava la sparizione, o almeno l'eccessivo sfruttamento delle foreste, dove gli alberi, tagliati troppo frequentemente, non riuscivano più a raggiungere la maturità. Questi legni erano però insostituibili nelle costruzioni, così come allora erano concepite –

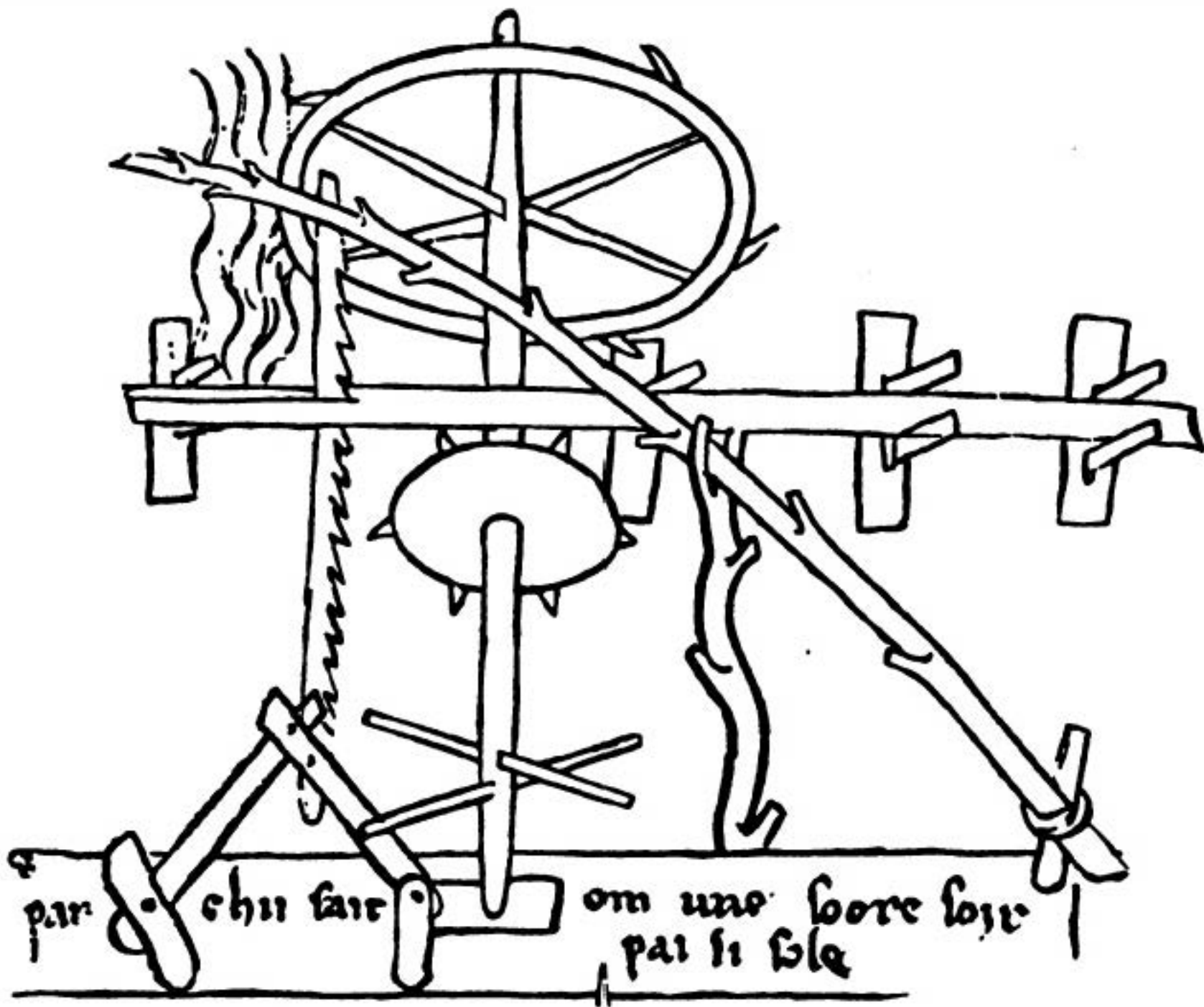
[27] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 258.

case di tavolati di legno con colombaia, armature massicce con arcarecci molto lunghi e catene di capriata portanti, pavimento "alla francese" (o almeno di un tipo costruito secondo tecniche analoghe), volte e soffitti di legno ispirati alle tecniche nordiche e marinare, roccaforti rinforzate da strutture in legno (o addirittura tutte in legno, secondo l'uso dei normanni e dei popoli germanici). Anche le palizzate di difesa, i ponti, i natanti, l'equipaggiamento di cantiere, le macchine e i mulini contribuivano all'alto consumo di legname.

Abbiamo visto che questa penuria è motivata, in primo luogo dagli usi estremamente ampi e diversificati del legname, in secondo luogo dall'aumento della domanda, causato semplicemente dall'accrescimento della popolazione a partire dall'XI secolo, ma pure aggravato dagli incendi urbani, in quel tempo innumerevoli, e infine, in terzo luogo, dalla riduzione delle superfici boschive e, soprattutto, dal tipo di sfruttamento agrosilvestre dell'epoca. Le foreste francesi, all'inizio del XIV secolo, coprivano 13 milioni di ettari, cioè un milione di ettari meno che nella nostra epoca. Si può anche osservare che la crescita degli scambi contribuì, insieme allo sviluppo del commercio internazionale – in particolare marittimo – a generare la penuria di un materiale che, oltre ad essere indispensabile alla marina, era pure molto richiesto in certe regioni sfavorite, come l'Oriente e la costiera araba sul Mediterraneo, dove fattori diversi come un clima meno temperato, tradizioni nomadi e l'opera di antiche civilizzazioni si erano combinati per far scomparire le foreste. I contemporanei di questa società di consumo del legno non mancarono di attribuirne la penuria al progresso tecnico.

La lavorazione del ferro, prima che si utilizzasse il carbone, richiedeva un enorme consumo di legna; per ottenere cinquanta chili di ferro, bisognava trattare duecento chili di minerale[28], bruciando almeno venticinque steri di legna; una sola "carbonaia" poteva così produrre, in quaranta giorni, il disboscamento di una foresta per il raggio di un chilometro. "Nel Delfinato, i rappresentanti del Delfino accusavano ufficialmente coloro che fondevano il ferro di essere i responsabili della distruzione dei boschi e chiedevano che si prendessero delle misure energiche contro i taglialegna e i fonditori"[29].

Anche l'industria della costruzione, per via della preparazione del vetro e della calce, contribuiva al consumo del legno: le fornaci da calce di Wellington, nel 1255, consumavano cinquecento querce all'anno[30]. Si può immaginare quale conseguenza abbia avuto sulle foreste un programma così vasto e importante come quello delle cattedrali.

[28] J. Gimpel, *op. cit.*, p. 79.
[29] *Ivi*, p. 82.
[30] *Ivi*.

Sega idraulica con spostamento automatico in avanti del pezzo da tagliare (disegno di Villard de Honnecourt).

Parte della responsabilità è anche attribuibile alle facilitazioni apportate, nella lavorazione del legno, dalle segherie idrauliche mosse dai mulini ad acqua; essi erano già conosciuti dai Romani, che li avevano poco perfezionati a causa dell'esistenza di una energia servile a buon mercato, ma ebbero un notevole sviluppo durante il Medioevo. Le Goff, ad esempio, riferisce il caso di Colmars, nelle Alpi, dove i consoli della città, alla fine del XIII secolo, ordinano la distruzione delle segherie idrauliche perché esse provocano il disboscamento della regione[31]. Il risultato, nel caso citato, è d'altronde esattamente inverso a quello previsto: le foreste vengono infatti "invase dai poveri armati di seghe a mano, che causano guasti e distruzioni cento volte più gravi".

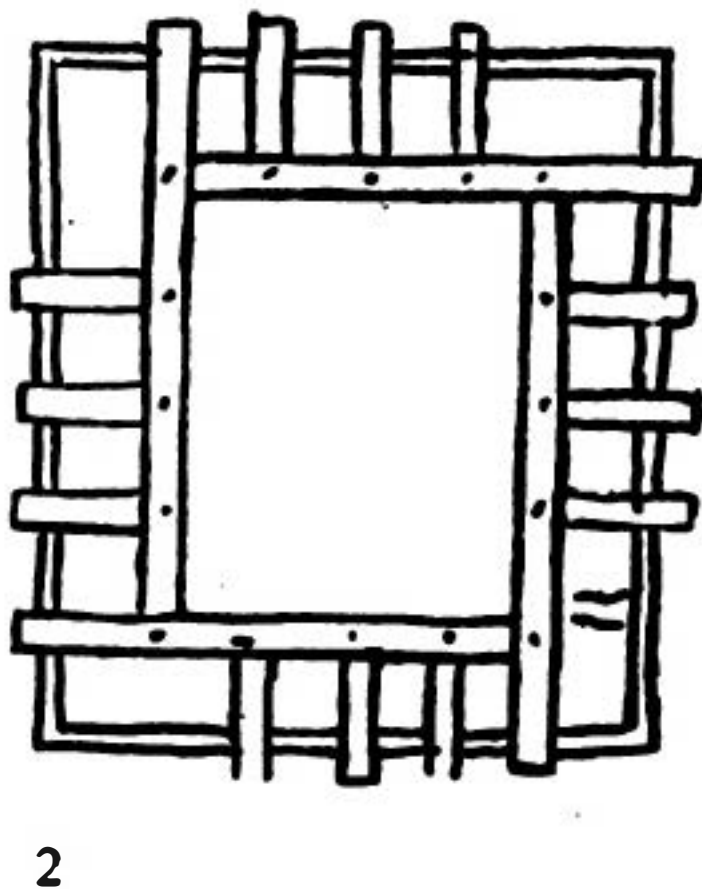
Un cronista inglese, all'inizio del XIV secolo, lamentava che la ricerca di alberi d'alto fusto per costruire le ali dei mulini fosse una delle maggiori cause della deforestazione[32].

[31] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 304.
[32] L. White, *op. cit.*, p. 23.

Anche le leggende[33] contribuiscono a testimoniare la rarità del legno da costruzione. Quando l'architetto incaricato della riparazione della cattedrale di Tréguier sbaglia le misure, si dimostra necessario niente meno che l'intervento di S. Ivo per riparare l'errore e allungare miracolosamente le travi tagliate troppo corte. Siamo ormai all'inizio del XIV secolo; ma già nel XIII secolo possiamo vedere Suger ostinarsi a cercare nella foresta di Yveline (ora foresta di Chevreuse) i pezzi di legname di grande sezione di cui egli ha un assoluto bisogno per costruire l'abbazia di Saint-Denis, nonostante il parere contrario dei tecnici competenti, i quali non vedono altra soluzione che quella di far venire il legname dalla regione del Morvan.

Poiché il racconto pittoresco di Suger è stato più volte riprodotto per intero, ci limiteremo a citarne solo due passaggi[34]: "Per reperire dei pezzi di legname, avevamo consultato degli operai del legno, sia da noi, sia a Parigi, ed essi ci avevano risposto che a loro parere, a causa della mancanza di foreste, non se ne poteva trovare in quelle regioni e che sarebbe stato necessario farli venire dalla regione di Auxerre. Erano tutti d'accordo su questo punto. Ma noi, noi eravamo abbattuti al pensiero d'un così grande lavoro e del lungo ritardo che esso avrebbe fatto subire all'opera". Non scoraggiato, e fidando nella protezione divina, Suger si mette lui stesso alla ricerca, nonostante la scettica ironia delle guardie forestali, e riesce a trovare, nel corso di una laboriosa giornata, le dodici travi che gli mancano. "Dopo esserci affaticati, fino all'ora nona o poco prima, attraverso la fustaia, attraverso lo spessore delle foreste, attraverso i cespugli di spine, nella meraviglia di coloro che erano presenti e che ci circondavano, riuscimmo alfine a trovare dodici grandi pezzi: era il numero che ci serviva: li facemmo trasportare con gioia fino alla Santa Basilica e collocare sotto la copertura della nuova opera, in lode e in gloria del Signore Gesù che li aveva custoditi, per sé e per i suoi Martiri, avendo voluto proteggerli dalla mano dei ladri". Suger non è insomma lontano dal pensare che la scoperta, nell'insieme della foresta di Chevreuse, di dodici alberi, dai quali potevano essere tagliate dodici grosse travi, fosse quasi un miracolo – quel miracolo che, nel Medioevo, non esplicava soltanto la funzione, come scrive irriverentemente Le Goff, di "sicurezza sociale"[35].

Nel XIII secolo, riferisce Duby[36], il legno costava così caro, in particolare in Lorena, che si dovette vietare, nelle campagne, la costruzione degli steccati temporanei, che servivano a delimitare e a distinguere gli spazi di pascolo e i campi da coltivare.

[33] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 258.
[34] Per una più lunga citazione cfr. J. Gimpel, *Le bâtisseurs...*, cit., p. 166.
[35] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 307.
[36] G. Duby, *op. cit.*, p. 270.

Due disegni di Villard de Honnecourt illustranti le difficoltà di approvvigionamento del legname di grandi dimensioni.
1) Ponte realizzato con legni di piccola dimensione
2) Metodo per costruire una piattaforma con delle travi troppo corte per la misura da coprire

Si ha notizia di numerosissime misure tese a restringere l'uscita, la vendita e la circolazione del legname da costruzione e di quello sottoposto al diritto di legnatico. Ogni signore, ogni città, ogni contadino si sforzavano, insomma, di poter disporre di parti di foreste o di diritti d'uso, che assicurassero loro i combustibili, i materiali e i diversi prodotti boschivi eventualmente necessari. Sul piano locale esisteva un intenso commercio del legno, che contribuì anch'esso ad esaurire la disponibilità di tale materiale: "I professionisti del commercio... approfittando della mancaza di denaro liquido che attanagliava in permanenza la maggior parte dei signori rurali, compravano i tagli in anticipo, con grande guadagno"[37].

Se analizziamo le rendite signorili del XIII secolo, vediamo aumentare considerevolmente la quota rappresentata dalla vendita di legname. Ad esempio, nel cantone di Beaumont le Roger, dopo il 1250, il profitto ricavato dalle foreste superava, come indica Duby[38], quello dei canoni imposti sulle terre. Ma un simile caso non era certo isolato: anche i religiosi, infatti, che erano grandi proprietari di foreste, approfittarono di questo stato di cose. A partire dalla fine del XII secolo, ad esempio, i monaci di Boscodon, vicino ad Embrun, si dedicarono al

[37] *Ivi*, p. 246.
[38] *Ivi*.

commercio del legno in direzione di Marsiglia, ma con probabile destinazione in Oriente. Il commercio del legno, infatti, soprattutto verso l'Oriente povero di foreste, era molto attivo per via d'acqua, e certamente remunerativo. L'Italia, in quell'epoca, era avanti di un buon secolo rispetto alle altre nazioni dell'Occidente, per ciò che riguardava il commercio[39]. E sono soprattutto i porti italiani a commerciare con l'Oriente: il disboscamento delle Alpi, e particolarmente delle Alpi del Sud, non è certo senza rapporto con questo movimento commerciale.

Nei documenti che noi abbiamo consultato sull'Europa Occidentale, non si trova alcun riferimento, in quest'epoca, a pratiche di fluitazione del legname: il primo trasporto di legno via acqua, giù dal Morvan, risalirebbe soltanto alla metà del XV secolo.

Nel XVI secolo, invece, la fluitazione doveva essere più frequente, giacché sul dipinto di Bruegel il Vecchio raffigurante la Torre di Babele, che si trova adesso nel Kusthistorisches Museum di Vienna, si vede una zattera di legno galleggiante, portata per via d'acqua ai piedi del cantiere. È probabile che tale sistema di trasporto, se in quel tempo fosse esistito in Francia, sarebbe stato ostacolato non solamente dai particolarismi locali e dall'uso dei pedaggi, ma anche dalla rarità di grandi fiumi non navigabili, ma con una corrente e una portata sufficienti e tali da permettere di applicare facilmente la fluitazione, come in certi paesi nordici. Ora, in quel tempo, dei fiumi che oggi sarebbero considerati non navigabili erano percorsi da barche e usati normalmente sia per trasporti, sia per spostamenti umani.

Studiando la crescita degli scambi fra l'XI e il XIII secolo, Duby evidenzia l'aumento del prezzo del legno da costruzione e il profitto sempre più elevato dello sfruttamento forestale, che spinge a poco a poco a chiudere i boschi al bestiame. "Così, nel XIII secolo, la foresta assomiglia ad una coltura protetta dell'albero, destinata a soddisfare i bisogni della costruzione, dell'artigianato e del riscaldamento"[40]. Ma prima che essa torni ad essere in grado di provvedere senza restrizioni alle necessità particolari della costruzione, ci vorranno anni di ricostituzione del capitale di legno così gravemente colpito. Nell'attesa, va sviluppandosi il commercio del legname, di pari passo con un considerevole rincaro del prezzo del legno, che finisce col rendere questo materiale in molti casi inaccessibile ed obbliga così ad economizzarlo al massimo nella costruzione. "Nel XIII secolo si era quasi smesso di costruire castelli in legno. Di contro, si facevano continuamente innumerevoli case nelle città; lungo i fiumi e sulle rive del mare, venivano messe in cantiere tantissime imbarcazioni, per lo più quelle navi leggere che venivano subito usate e che bisognava ricostruire almeno ogni

[39] *Ivi*, p. 384.
[40] J. Le Goff, *op. cit.*, p. 258.

dieci anni. Tutte queste esigenze, moltiplicate dal progresso della civiltà materiale, fecero costantemente salire il prezzo del legno da costruzione"[41].

Viollet le Duc, la cui erudizione e la cui conoscenza dei monumenti gotici non possono essere messe in discussione, osserva che le armature edilizie inglesi si distinguevano da quelle costruite in Francia soprattutto per la grandezza dei legni impiegati: egli segnala la persistenza, in Inghilterra, delle armature fatte con grossi pezzi di legno fino quasi al termine del XV secolo, e attribuisce la qualità e la ricchezza delle armature inglesi al fatto che la Francia della fine del XV secolo era in crisi economica, mentre l'Inghilterra era invece florida[42].

L'attribuisce anche alla deforestazione, che era più intensa sul continente. "Le foreste diradate del continente non potevano più fornire quegli alberi due volte secolari in quantità sufficientemente grande, così che i costruttori erano obbligati a ridurre il volume dei legni attraverso un giudizioso impiego delle loro qualità"[43].

In Inghilterra, inoltre, la pressione demografica era molto meno forte e le foreste avevano beneficiato di una particolare protezione. Si è potuto stabilire, tuttavia, che talune armature inglesi di quest'epoca erano fatte con legno importato dalla Scandinavia: ciò dimostra che anche in Inghilterra, per certe qualità di legname o per certi pezzi determinati, bisognava andare a cercare il materiale al di là del mare. "La progressiva distruzione delle foreste e l'alto costo del legno obbligarono l'Inghilterra a importare legname dalla Scandinavia e a ricercare un combustibile sostitutivo. Le prime navi cariche di abeti norvegesi entrarono nel porto di Grimsby, sulla costa orientale, nel 1230. Il maestro carpentiere della cattedrale di Norwich dovette andare, nel 1274, fino ad Amburgo, in Germania, per comprare delle tavole e delle travi"[44].

Ciò nondimeno l'Inghilterra si trova sempre in una situazione molto più favorevole della Francia, dal punto di vista del legname. Bisogna ricordare, in effetti, le possibilità offerte dalle foreste reali: gli alberi necessari per la costruzione delle chiese erano sovente il contributo offerto dal re; nel 1232, ad esempio, il re Enrico III donò al monastero di Gloucester cento querce della foresta di Dean per riparare la chiesa[45]. Anche per le costruzioni civili le foreste reali davano il loro contributo: la costruzione del Castello di Windsor, nel XIV secolo, richiese addirittura l'abbattimento di 3944 querce[46].

Ma era possibile ridurre il consumo del legno? Vi erano dei surrogati per alcune delle sue utilizzazioni? Per il riscaldamento, soprattutto in Inghilterra, co-

[41] G. Duby, *op. cit.*, p. 244.
[42] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, III, p. 43.
[43] *Ivi*, III, p. 3.
[44] J. Gimpel, *La révolution...*, cit., p. 83.
[45] E. Seiriol, *Gloucester Cathedral*, Pithin, London 1969, p. 5.
[46] J. Gimpel, *op. cit.*, p. 83.

minciavano già ad essere impiegati il carbone, la torba e la lignite; ma in Francia, dove i giacimenti erano meno numerosi e meno accessibili, si continuò ancora per lungo tempo ad usare principalmente la legna. I primi indizi di una utilizzazione del carbone, in Inghilterra, risalgono al 1200[47], ma già a partire dalla metà del XIII secolo se ne esportava all'estero. Per la costruzione, invece, la pietra, ignifuga, inattaccabile da parassiti, più resistente all'acqua, alle intemperie e ai colpi, poteva sostituire vantaggiosamente il legno in molti casi; bisognava, però, poter disporre di pietre che avessero le qualità richieste e tali che l'estrazione, il trasporto ed il taglio non ne rendessero il prezzo proibitivo. Bisognava altresì sviluppare una nuova tecnologia, che permettesse di impiegare la pietra al meglio delle sue possibilità e dei mezzi dell'epoca. Bisognava – e il problema non si presentava negli stessi termini in tutte le regioni – che la pietra fosse competitiva rispetto al legno, così da sostituirlo nel maggior numero possibile dei campi in cui esso veniva utilizzato nel settore della costruzione. Tenuto conto delle condizioni locali, l'uso della pietra verrà così esteso, secondo i casi, ora a più elementi della costruzione ed ora a meno: muri, pilastri, architravi, volte, coperture, cuspidi, finestre, pavimenti, strutture fisse ecc.

Ma ci volevano tecniche di costruzione e di organizzazione che permettessero di economizzare questo materiale pesante, il cui trasporto costituiva, a parte le difficoltà del taglio, il problema principale: bisognava anche inventare un sistema di costruzione che, pur senza arrivare alla leggerezza permessa dal legno, possedesse la maggior parte dei suoi vantaggi.

Nel XII e nel XIII secolo, insomma, i costruttori dovranno adattarsi alle difficoltà di approvvigionamento dei materiali e agli alti costi del mercato. Queste necessità peseranno in modo considerevole sulle scelte tecnologiche.

Choisy[48] così descrive gli ostacoli che si presentavano davanti ai costruttori: "L'approvvigionamento dei materiali era impedito da difficoltà che noi, oggigiorno, faremmo fatica ad immaginarci... La normale via d'accesso, che avrebbe eliminato le difficoltà di trasporto, era molto raramente possibile, giacché la politica feudale vi si opponeva. Veniva fatto ostruire quel tratto di strada che avrebbe aperto al signore vicino l'accesso al territorio: diventava così necessario accontentarsi di strade cattive. E ad ogni nuovo feudo che queste strade attraversavano, il cammino veniva interrotto da un pedaggio: l'approvvigionamento era sempre precario e doppiamente rovinoso, sia per il prezzo che già da solo costava, sia per le taglie arbitrarie alle quali dava luogo.

In una simile situazione, bisognava accontentarsi di pochi materiali, impiegando talora dei materiali mediocri, magari proprio in vicinanza di cave eccel-

[47] W. Rees, *Industry before the industrial Revolution*, University of Wales Press, Cardiff 1968, p. 64.

[48] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 525.

lenti: bisognava trattare la pietra come una cosa preziosa: tutti gli sforzi dovevano tendere a limitarne l'impiego; era necessario costruire con il minimo di materiale, e sostituire alle combinazioni di massa gli artifici della mano d'opera. Posto così il problema, è possibile rendere agli architetti gotici giustizia, e affermare senz'altro che essi seppero risolverlo. Essi crearono un modo di costruzione in cui la materia, per così dire, si cancella, e tutto è combinazione".

La protezione dell'ambiente

Mitologia ed ecologia

I discorsi in favore del ritorno ad una vita semplice e più vicina alla natura esercitano sempre lo stesso fascino sui giovani sensibili. Ai nostri giorni gli ecologisti, in opposizione alla vita moderna, alla civiltà industriale e al potere capitalista, condannano il consumismo e lo spreco, profetizzano delle catastrofi e spingono i giovani verso strade marginali, verso spazi ecologici e "vite verdi", verso fattorie da risuscitare e verso la campagna.

Allo stesso modo san Bernardo, giunto a Parigi nel 1140, incalzava gli studenti con le sue prediche, li spingeva ad uscir fuori dalla città e proponeva loro, "contro Babilonia, la fuga, il 'deserto', unica strada di salvezza"[1]. "Tu troverai più cose nelle foreste che nei libri: gli alberi e le rocce ti insegneranno ciò che nessun maestro ti dirà mai", egli scriveva.

Nel secolo successivo san Francesco d'Assisi, che Duby definisce il "figlio di un trafficante di Assisi"[2], volta le spalle alla propria famiglia borghese e al mondo del commercio, per concretizzare, nella carità e nella fraternità, le confuse aspirazioni di tanti giovani di allora verso una natura più o meno idealizzata o verso una vita più semplice e più ugualitaria. Allo stesso modo, oggigiorno, alcuni giovani, ripudiando la classe agiata alla quale appartengono, formano delle comunità, coltivano la terra, curano le capre, fanno dell'artigianato, oppure, più simili ancora ai discepoli di san Francesco, cercano di andare in

[1] G. Duby, *Le Temps des cathédrales*, cit., p. 146.
[2] *Ivi*, p. 206.

aiuto ai diseredati del Terzo Mondo – e qualche volta anche a quelli che scoprono intorno a loro.

L'influenza di questa aspirazione verso una natura di cui non si ha più paura, che viene caricata di tutte le virtù e che viene riscoperta, si esprime oggi nella letteratura: al tempo delle cattedrali, si manifesta anche nella scultura e si fa sentire nell'architettura. "Solo accogliendo la natura, gli animali selvaggi, la freschezza dell'alba e i vigneti in via di maturazione, la Chiesa delle cattedrali poteva sperare di attrarre il mondo dei cavalieri cacciatori, dei trovatori e delle vecchie credenze pagane del potere delle forze agresti"[3].

Ma questo amore della natura non era per nulla orientato verso la protezione e la salvaguardia dell'ambiente naturale: le comunità monastiche, verso le quali si cercava di indirizzare gli aspiranti ad una vita più naturale, sfruttavano e dissodavano i terreni, ma forse secondo metodi più razionali e preveggenti che non i semplici contadini, i quali erano posti di fronte alla necessità vitale di estendere la loro area coltivabile. Essendo "persone morali" e non persone fisiche ed effimere, le comunità monastiche potevano avere una coscienza programmatrice e una nozione del tempo più sviluppate: esse potevano fare, insomma, un vero e proprio sfruttamento razionale e organizzato della natura.

Louis Armand è arrivato al punto di vedere nelle abbazie del Medioevo l'origine del moderno *management*: "Di questo sfruttamento razionale della natura, impregnato del rispetto che ad essa è dovuto, si può dire che l'esempio migliore sia stato offerto dalle abbazie del Medioevo. Esse erano delle importanti unità di produzione e dei considerevoli centri di attività economica, e ci hanno lasciato degli strumenti di produzione notevoli per la loro bellezza. Esse trasformavano gli stagni in vivai, vi aggiungevano dei mulini, sistemavano foreste e vallate. Si può vedere un eccellente esempio di questa associazione fra estetica e produttività nei vasti granai gotici, incomparabili installazioni di stoccaggio dei cereali e nel medesimo tempo veri e propri monumenti architettonici; è un peccato che i loro successori, i silos, non abbiano sempre seguito questa tradizione"[4].

Vi è forse, in queste parole, un eccessivo abbellimento della realtà; comunque sia, è probabile che le comunità monastiche abbiano contribuito a far prendere coscienza dell'importanza di un equilibrio fra le foreste e le colture ed abbiano partecipato efficacemente ai progressi dell'agricoltura, non fosse altro che per il fatto di essere gestite da gente che sapeva scrivere e che era quindi in grado di trasmettere l'esperienza propria a quella altrui.

D'altra parte, antiche tradizioni pagane (che ancora ai nostri giorni possono essere riscontrate presso certi popoli primitivi) fanno della foresta uno spazio

[3] *Ivi*, p. 178.
[4] L. Armand in *Réalites*.

sacro, dimora di forze misteriose e temute come pericolose, oppure di mostri. Il bosco, nello stesso tempo, è anche un rifugio per i fuorilegge. Si può constatare ancora oggi, del resto, che i cittadini amanti della natura si limitano, per lo più, a rimanere ai margini delle foreste ed hanno paura, più o meno istintivamente, di inoltrarsi nel folto del bosco, quasi dovessero perdervisi o farvi cattivi incontri. Questi esseri pericolosi che si riteneva popolassero le foreste (e, in effetti, animali assai temibili vi trovavano spesso rifugio) tenevano lontani gli intrusi più efficacemente delle guardie forestali o dei guardiacaccia di oggigiorno. Notiamo che, sempre ai nostri giorni, il fatto che i lupi vi siano protetti contribuisce a scoraggiare i turisti dal penetrare in certe zone dei Parchi Nazionali in Polonia, che rimangono in tal modo al riparo dai saccheggi proprio come i boschi sacri di una volta, abitati da esseri favolosi – che forse, però, non erano sempre del tutto irreali... Mitologia ed ecologia, insomma, si confondono. Molti signori, del resto, dovevano trarre un certo vantaggio a lasciar propagare queste superstizioni. Ma, davanti alla necessità di estendere le coltivazioni per sopravvivere, gli orchi e i lupi cattivi non erano certo sufficienti per allontanare i dissodatori: bisognava perciò creare degli spazi boschivi e delle "foreste", cioè, secondo il significato etimologico, degli spazi riservati e difesi, sottratti alla libera utilizzazione e custoditi da regolamenti severi.

La protezione delle foreste

Senza essere degli "ecologisti", molte persone di allora avevano coscienza dei problemi che si presentavano, particolarmente per ciò che riguardava il legname: vennero stabilite così un po' dappertutto delle misure protettive e restrittive, destinate a garantire la salvaguardia del capitale boschivo. "La foresta è la prima ricchezza naturale minacciata che venga protetta da precisi regolamenti"[5].

Questa medesima necessità doveva riproporsi, in epoche differenti, alla maggior parte delle collettività e dei governi dell'Europa Occidentale; ma è soprattutto a partire dal XIII secolo che vengono prese misure pratiche di protezione, di conservazione e di cura delle foreste.

Si può già riscontrare la preoccupazione di proteggere le zone boschive nel corso del primo terzo del IX secolo, nel Capitolare *De Villis*, emanato da Carlo Magno o da suo figlio Ludovico, re di Aquitania (794-813). All'articolo 36, questo documento così delinea la missione degli agenti reali: "... che i nostri boschi e le nostre foreste siano da loro ben sorvegliati, che essi facciano dissodare i luoghi che devono esserlo, ma che non permettano ai campi di crescere a spese

[5] G. Bertrand in AA.VV., *Histoire de la France Rurale*, cit., I, p. 87.

dei boschi. Dove devono esservi boschi, che essi non permettano di tagliare gli alberi o di danneggiarli".

Nel periodo fra l'XI e il XIII secolo, quando veniva concesso il diritto di uso della foresta a un contadino o a una collettività, era generalmente previsto il divieto di vendere del legname o di farlo uscire dal territorio: si trovano numerose tracce di questa precauzione: ricordiamo, in particolare, il Polittico di Marmoutier in Alsazia (IX secolo), il Cartolare di Cluny (XI secolo), la Carta di Beaumont (XII secolo), l'indagine sui diritti di uso degli uomini del Capitolo di Sainte-Croix, vicino a Orléans (1201). Era raro, inoltre, che l'usuario avesse il diritto di servirsi da solo: egli doveva farsi dare la legna da guardie forestali. Questa precauzione, però, non concerneva abitualmente che i grandi legni da costruzione, mentre gli usuari – soprattutto nel periodo anteriore al XIII secolo – prendevano di solito liberamente il legno da ardere per il riscaldamento fra i così detti "legni morti"[6]. Questa espressione designa quelle specie di alberi che potevano essere tagliate per il fuoco: la lista era diversa a seconda delle località. Ma si diffidava di coloro che danneggiavano i boschi, i così detti *boisilleurs*: un termine che verosimilmente ha dato origine alla parola *bousilleur*, abboracciatore, a conferma della diffidenza che si nutriva verso quegli uomini delle foreste che degradavano troppo spesso un capitale prezioso.

Sappiamo, grazie alla *Carta di Beaumont* (1182) – un documento molto conosciuto, perché servì da modello a più di cinquecento carte comunali di "città nuove" – che quando un abitante aveva bisogno di legno da costruzione doveva rivolgersi al sindaco, il quale lo soddisfaceva, nei limiti dei suoi bisogni e delle risorse della foresta, previo pagamento: si arrivava così a pagare, ad esempio, 5 soldi per ogni albero, a Stenay[7].

I legni da costruzione, una volta consegnati all'acquirente, dovevano essere impiegati entro un lasso di tempo determinato – esattamente come, ai nostri giorni, il permesso di costruzione non rimane valido che per un anno. Era d'altra parte vietata la vendita di questo legname a stranieri. Anche quando i signori concedevano carte di diritti per nuove città, tali carte di solito comportavano delle riserve riguardo allo sfruttamento dei boschi; non soltanto il signore si riservava un diritto d'uso, ma spesso vietava espressamente di dissodare il territorio forestale. Nella Carta di Beaumont, le zone dissodabili costituivano una deroga alla regola che vietava di prendere e di portare via dei legni da costruzione, del carbone di legna o qualunque altro prodotto della foresta, sotto pena di ammenda. Il fatto è che la necessità di ampliare le colture, per far fronte ai problemi d'alimentazione, passava davanti a tutto il resto, malgrado la grande cura che avevano gli uomini del Medioevo nel preservare un prodotto

[6] G. Huffel, *op. cit.*, p. 78-117.
[7] *Ivi.*

così prezioso ed indispensabile come il legno, e così raro come, in particolare, il legno da costruzione. La *Charte du Ban* di Bains-les-Bains (Vosgi), che risale al XIII secolo, prevede che i borghesi che vogliono costruire possano prendere quattro tronchi nel bosco del signore, mentre, per il legno in più di cui abbiano bisogno, paghino una *angroigne* per ogni pezzo[8].

Alla fine del XII e durante il XIII secolo, vanno moltiplicandosi in tutta l'Europa Occidentale gli scritti e le deliberazioni per proteggere le foreste, il cui restringimento o la cui sparizione non soltanto portano ad una diminuzione di risorse essenziali – legno, selvaggina, miele – ma, in alcune regioni e su certi terreni, aggravano gli effetti dannosi dei torrenti e dei fiumi in piena, fino ad esiti che sono spesso catastrofici. A Colmars, nelle Basse Alpi, la preoccupazione causata dai disboscamenti è attestata dai divieti – di cui già abbiamo parlato – delle seghe meccaniche. Lungo il versante meridionale delle Alpi, dalla Provenza alla Slovenia, si va organizzando, a partire dal 1300, la protezione dei boschi e delle foreste. Così, ad esempio, l'Assemblea Generale degli uomini di Folgaria, nel Trentino[9], riunita il 30 marzo 1315 sulla piazza pubblica, decreta: "se qualcuno viene sorpreso a tagliare degli alberi sul Monte 'alla Galilena' fino al sentiero di quelli di Costa che conduce al Monte, e dalla cima fino alla pianura, costui dovrà pagare 5 soldi per ogni ceppo. Che nessuno osi tagliare su questo monte dei fusti di larice, per ricavarne legna da ardere, sotto pena di cinque soldi per ogni tronco".

Il comune di Montaguloto, vicino a Bologna[10], fa obbligo, nel 1280, ad ogni abitante di piantare 10 nuovi alberi ogni anno: aggiungiamo che lo stesso testo prescrive ad ogni capo di famiglia di piantare un orto di porri, una bordura di cipollette, quattrocento cipolle e cinquanta teste d'aglio... Queste prescrizioni autoritarie erano sanzionate da multe.

In Inghilterra, invece, si vedono apparire le prime misure di protezione delle foreste solo con un certo ritardo. Ciò si spiega facilmente: essendo l'Inghilterra molto meno popolata rispetto all'Europa continentale, l'effetto della pressione demografica vi si fa sentire più tardi. Molte foreste, comunque, vengono protette, essendo state assegnate, dopo la conquista normanna, al demanio reale. Soltanto nel XV secolo, quando la penuria di legname comincia a colpire anche l'Inghilterra, ci si preoccupa di preservare le foreste. Già durante il regno di Edoardo IV, nel 1482, un decreto reale prescrive la conservazione e la sistemazione delle zone boschive: è l'*Act for enclosing of woods*. "In Scozia, nel 1504, il re Giacomo IV ordina con una legge ai proprietari, dovunque non vi siano né grandi boschi, né foreste, di rimboscare almeno un acro di territorio"[11]. "La

[8] *Ivi*, p. 131.
[9] G. Duby, *L'économie rurale...*, cit., p. 338.
[10] *Ivi*, p. 131.
[11] H.L. Edlin, *Forestry in Great Britain*, Forestry Commission, London 1969.

prima legislazione applicata in Inghilterra risale al re Enrico VIII, sotto il regno del quale venne creata dal Parlamento, nel 1534, una legge per evitare la distruzione della fauna selvatica. Un obiettivo di conservazione e di tutela è rivelato dalle disposizioni relative alle uova di airone, ai pellicani, alle gru, ai martin pescatori, mentre gli uccelli vengono lasciati senza protezione anche durante il periodo di riproduzione... Gli interessi dei falconieri, in questo caso, erano evidentemente primari..."[12].

"L'altro motivo di preoccupazione ufficiale, in Inghilterra, era la scarsa produzione di piante, soprattutto di querce in piena maturità, minacciata dalla deforestazione e dalla domanda rapidamente crescente di carbone di legna per la fusione del ferro. I conflitti religiosi e gli antagonismi nazionali che seguirono la Riforma stimolarono l'aumento della produzione di cannoni di ferro, di polvere e di munizioni, il quale portò ad un più intensivo sfruttamento delle zone boschive e finì pertanto con il causare una penuria del legname da costruzione di prezzo accessibile. Ciò preoccupò la marina e diede luogo a quella che noi consideriamo la più antica serie di testi miranti alla conservazione delle foreste in Inghilterra"[13].

Enrico VIII, nel 1543, firma un decreto per la preservazione dei boschi. "All'inizio ci si preoccupa di difendere i boschi cedui, e principalmente i noccioleti, ma si considerano anche i carpini, i frassini, i castagni comuni, le betulle e le querce, allo scopo di garantire dei materiali di piccole dimensioni per la costruzione degli steccati di confine, per la preparazione del carbone di legna e per ottenere delle scorze per conciare il cuoio. Venne in seguito organizzato un sistema di rotazione per gli abbattimenti di alberi, così da assicurare una produzione annuale. Più tardi, poiché la foresta originale veniva sempre più riducendosi, divenne abituale, nel Sud dell'Inghilterra, tenere in riserva delle grandi querce, dei frassini e dei castagni comuni, i così detti 'alberi standard', affinché potessero fornire, quando fosse necessario, dei grandi pezzi di legname per costruire le case, i granai o le navi"[14].

Ma sembra che in Francia ci si sia dovuti preoccupare di questo problema prima che in Inghilterra: "Gli uomini, già dalla fine del XII secolo, cominciarono a considerare lo spazio boschivo come un valore prezioso, che meritava una speciale protezione"[15]. Tuttavia, a causa della mancanza dell'unità politica, che invece caratterizzava allora l'Inghilterra, non vi potevano essere delle disposizioni regolamentari generali: ogni normativa valeva soltanto entro un am-

[12] M.A. Nicholson, *The enviromental revolution*, Hodder and Stoughton, London 1970, p. 141 [*La Rivoluzione ambientale*, tr. it. di G. Benedetti Citteris, Garzanti, Milano 1974].

[13] *Ivi*.

[14] G. Duby, *op. cit.*, p. 338.

[15] *Ivi*, p. 245.

bito locale, giacché lo stesso re, come qualunque altro signore, non legiferava che per quelli che erano i suoi propri possedimenti. Si possono citare alcune date: un'ordinanza del 1223 impedisce ai giudici ordinari di preoccuparsi di questioni concernenti le foreste, che devono essere invece trattate dal *forestarius*. Questi, nel XII secolo, è sovente chiamato anche *magister forestae*[16]. Tali funzionari forestali (che nel XIV secolo furono sostituiti dai funzionari delle "Acque e Foreste") erano nominati dal re o dai suoi balivi. San Luigi, nel XIII secolo, fa chiudere da una recinzione la foresta di Vincennes. Nel 1302 un'ordinanza di Filippo il Bello si occupa delle foreste e prescrive di trasformare in riserve alcuni territori boschivi. Questa disposizione mostra che la nozione di età di sfruttamento esisteva già chiaramente presso i funzionari forestali della fine del XIII secolo. Un po' più tardi, un'ordinanza del 1376 ricorda che è tradizione riservare degli alberi come "porta-semi" o campioni, al momento degli abbattimenti.

La situazione si presenterà più o meno aggravata nei vari paesi, a seconda delle particolari situazioni: così la Spagna dopo il XV secolo, con la sua febbre di costruire vascelli destinati a trasportare l'oro dalle Americhe e ad assicurare la propria supremazia sui mari, compromise per i secoli a venire la propria agricoltura, il proprio clima e la propria stessa sopravvivenza, mentre l'Italia, con un clima meno estremo e assai più umido nelle sue regioni settentrionali e centrali, vide scomparire il proprio patrimonio boschivo meno velocemente.

Ma, per molti usi, il legno rimaneva pur sempre un materiale insostituibile e quindi l'oggetto di un intensissimo consumo. Nello stesso tempo, gli uomini d'allora erano presi dalla necessità di assicurare la propria sussistenza, dando sviluppo alle colture essenziali per vivere: i progressi tecnici dell'agricoltura, da parte loro, aiutavano questi sforzi; ma l'essenziale, dall'XI al XIII secolo, dipendeva dall'estensione delle superfici coltivate e quindi prima di tutto – eccettuati quei settori dove erano possibili i prosciugamenti – dai dissodamenti delle terre incolte.

"I dissodamenti che vanno sviluppandosi dall'XI al XIII secolo sono causa di un capovolgimento degli equilibri naturali che non può essere paragonato se non alla crisi ecologica del XX secolo. La terra per la coltivazione viene strappata non soltanto alla foresta, ma anche alle distese paludose o semplicemente inondabili. Vengono a prodursi parecchie evoluzioni ecologiche irreversibili, come la distruzione di foreste, il prosciugamento di interi ambienti, la distruzione di piante e di animali e spesso addirittura l'inaridimento di antichi terreni coltivati"[17].

[16] G. Huffel, *op. cit.*, p. 47.
[17] G. Bertrand, *op. cit.*, p. 108.

"È evidente, tuttavia, che la maggior parte delle modificazioni dell'ecologia sono provocate dagli stessi agricoltori, dalla lenta inserzione del campo permanente in mezzo alle popolazioni vegetali spontanee, dalla parallela sistemazione dei terreni da pascolo, dall'ardore più o meno vivo di dissodare delle nuove terre e infine, in tempi più vicini a noi, dopo il XII secolo, quando lo spazio rurale comincia ad essere veramente riempito e quando i proprietari delle foreste si decidono a proteggerle, dalla insistenza degli agricoltori a sollecitare senza alcuna misura la terra arabile"[18].

Ma un simile progressivo rosicchiamento delle foreste non rallenterà e non avrà fine che all'inizio del XIV secolo, con la stasi demografica seguita ai primi, molteplici fattori limitanti che erano apparsi nel frattempo.

La ricostituzione delle superfici boschive sarà favorita dagli anni cupi della seconda metà del XIV secolo e dell'inizio del XV secolo, un periodo che iniziò con la Peste Nera, che spopolò l'intero Occidente, e terminò in Francia con le devastazioni della guerra dei Cento Anni. Un detto della contea di Saintonge suona: "Sono gli inglesi che portarono i boschi in Francia". Gli inventari fatti dopo la guerra dei Cento Anni rivelano, effettivamente, un ritorno in forza, in tutte le regioni francesi, delle foreste, dei boschi cedui e dei cespugli. Ma ci vorrà ancora lo sforzo di molte generazioni e tutto un insieme di misure diverse, le une promosse da un'esigenza di maggiore redditività mirante a proteggere le foreste contro uno sfruttamento anarchico, le altre ispirate dal desiderio di ricreare un quadro propizio alla caccia e alle cavalcate dei nobili, perché si possano vedere finalmente riapparire gli alberi di alto fusto, divenuti ormai rari e introvabili se non al fondo dei boschi più inaccessibili, e comunque remoti dalle città affamate di legname.

[18] AA.VV., *Histoire de la France Rurale*, cit., 1, p. 28.

Seconda parte

LA COSTRUZIONE GOTICA

Condizioni e mezzi

SOCIO-ECOLOGIA E ARCHITETTURA

Minimizzando il "fatto di civilizzazione" nella genesi e nello sviluppo di un modo di costruzione, considerando uno stile o un'architettura soltanto come l'espressione di una sorta di sistema socio-ecologico, si cadrebbe nel difetto che è criticato da Pierre Gourou: "Insomma, le cose non possono essere altro che ciò che esse sono, ed è sufficiente, partendo da questo principio, mettere alla luce le energie che possono scattare in vari modi e gli ingranaggi dai diversi funzionamenti che comandano un dato ecosistema. Ugualmente, quando esso cambierà, il ricercatore appassionato di tale metodo non potrà che riscontrare un adattamento a delle nuove condizioni"[1].

Gourou afferma che le modificazioni nel paesaggio non cambiano le culture. Ma esse ne trasformano certi aspetti, come l'architettura, che è così intimamente legata al paesaggio, sia in senso visuale, sia in senso materiale: in un paese come la Francia, infatti, il paesaggio è la traduzione, sul piano visuale, di un ambiente sfruttato dall'uomo. Questo paesaggio esprimerà quindi, attraverso le sue modificazioni, sia dei cambiamenti nell'ambiente, frai quali alcuni del tutto indipendenti dall'uomo (come le catastrofi naturali o la maggior parte dei mutamenti climatici) ed altri, invece, prodotti molto spesso dalla società (come, ad esempio, la deforestazione, con tutte le sue conseguenze), sia dei cambiamenti negli insediamenti, nelle occupazioni e nelle opere degli uomini in materia, particolarmente, di urbanizzazione, di impianti stradali, di costruzioni e,

[1] P. Gourou, *Cours de géographie tropicale*, Mouton, Paris 1971, p. 107.

anche, di distruzioni. Nella maggior parte dei casi, il paesaggio esprimerà delle trasformazioni che implicheranno contemporaneamente entrambi i settori, poiché l'ambiente modificato causerà a sua volta dei cambiamenti in tutte le manifestazioni della cultura.

Noi studiamo, in questo libro, soltanto uno fra gli elementi del "paesaggio" dell'epoca gotica, uno dei suoi aspetti più sorprendenti: la fioritura delle cattedrali.

Consideriamo l'*ambiente* del Medioevo come una sorta di ecosistema, cioè un insieme di elementi dinamici interdipendenti nel quale la modificazione di alcuni fattori non può mancare di avere delle influenze su tutti quegli elementi che sono loro legati. Secondo Michel Parent: "Parlando solamente di ecologia umana, si avrebbe la scelta di definirla sia come la scienza dei rapporti diretti dell'uomo col mondo biologico, e quindi come parte di una ecologia che allargherebbe in ogni direzione i rapporti dell'uomo con tutto l'ambiente, sia, invece, come la scienza globale della relazione dell'uomo con il suo proprio ambiente, ivi compreso l'insieme degli 'artefatti' umani, e in particolare quelli che rientrano nell'architettura e nella sistemazione del paesaggio". È questa seconda definizione quella che noi adottiamo: senza minimizzare l'influenza considerevole dei fatti di civilizzazione e delle motivazioni religiose, sociologiche, psicologiche e culturali, bisogna esaminare se la combinazione di questi fattori con delle modifiche dell'ambiente circostante (soprattutto quelle derivanti dai modi di sfruttamento del terreno, dalla crescita demografica ed urbana, dai fattori sociali e politici ed infine dal progresso delle tecniche) abbia potuto imporre ai costruttori dei dati differenti. Essi li presero in considerazione, sforzandosi di realizzare un'economia dei mezzi a disposizione e di inventare combinazioni nuove e soluzioni originali. Per capire le strade che questi costruttori decisero di percorrere e le realizzazioni alle quali pervennero, noi dobbiamo esaminare, uno dopo l'altro, i diversi elementi della tecnica gotica, considerando, nello stesso tempo, i legami che stringono fra loro questi elementi e quelli che li rapportano con le condizioni esterne.

La sfida dei gotici

Volendo descrivere la nascita e lo sviluppo di tecniche che si sono espresse attraverso una certa architettura, è indispensabile fornire al lettore alcune nozioni fondamentali. È anche utile, per ciò che concerne più specialmente l'architettura gotica, rivedere certe affermazioni che sono state riprese di autore in autore da ormai un secolo e mezzo, senza mai essere state esaminate abbastanza da vicino dai tecnici della costruzione.

Non vi è una frattura netta fra l'architettura romanica e l'architettura gotica; nel tempo come nello spazio, infatti, le tecniche più specificamente romaniche,

quelle che prefigurano il gotico e quelle che sono più in particolare caratteristiche di questa architettura coabitano spesso, nell'Europa Occidentale.

Ma non è per un caso, senza un particolare motivo o per un semplice desiderio di novità, che si passa – in tempi differenti, d'altronde, secondo i luoghi – da una architettura all'altra: è invece perché le soluzioni gotiche rispondevano meglio, nella maggior parte dei casi, alle condizioni dell'ambiente, alle sue risorse, alle sue caratteristiche sociali ed economiche, alle possibilità nuove come alle difficoltà e alle penurie dell'epoca. Nello stesso tempo, ovviamente, si riscontra in questa architettura il riflesso della fede, delle convinzioni, delle aspirazioni e dell'audacia di quel particolare momento della storia.

Non si tratta di negare le motivazioni irrazionali, religiose e mistiche, le ricerche estetiche e plastiche, il bisogno di fare più e meglio, la ricerca di *records*, il gusto dell'esoterismo. Ma se la fede, l'entusiasmo e, in una certa misura, l'amor proprio e l'aggressività riuniscono gli uomini e permettono loro di compiere degli sforzi straordinari in certe epoche, tutte queste motivazioni non sono sufficienti per costruire. Esse non permettono di sfidare le leggi della natura né di ignorare i materiali ed i mezzi impiegati nel lavoro; devono sottomettersi a quelle e tener conto di questi.

La messa in opera di tali mezzi e materiali si fa secondo tecniche appropriate ai diversi stadi della concezione e dell'esecuzione; le conoscenze ed i metodi in materia di calcoli della resistenza dei materiali, di stabilità delle costruzioni, di composizione delle forze, di meccanica, di statica e di geometria descrittiva, nonché la nozione precisa delle difficoltà connesse alla forza del vento, alla pressione della neve o al carico dei diversi pesi, nel XII secolo erano rudimentali o del tutto inesistenti: ciò, tuttavia, non ha impedito ai Maestri gotici, andando molto al di là degli esempi e dei tentativi precedenti, di sperimentare, di rischiare e di realizzare dei capolavori di un'arditezza inaudita per l'epoca, secondo uno straordinario senso costruttivo, che oggigiorno il nostro calcolo non può che confermare. Ma lo conferma soprattutto l'esperienza, giacché questi capolavori, quando gli uomini non li abbiano essi stessi abbattuti, hanno resistito, per la maggior parte, lungo i secoli.

Ma ciò non poté accadere senza che, nel corso di numerose esperienze sfortunate, da cui i gotici seppero comunque trarre ammaestramento, diversi edifici, troppo arditi o puntellati in maniera insufficiente o mal fondati, rovinassero al suolo: venne così a prodursi, non soltanto per un gioco di eliminazione, ma anche in seguito alle conclusioni che i costruttori seppero subito ricavare da tali disastri, una selezione, in qualche modo analoga alla selezione naturale, ma infinitamente accelerata dalla riflessione umana, nelle differenti soluzioni architettoniche e nelle differenti forme possibili: "le civiltà sono lamarckiane"[2].

[2] P. Gourou, *Pour une géographie humaine*, cit., p. 49.

Realizzare, come fecero i gotici, otto secoli prima della nascita della costruzione metallica e del cemento armato, strutture non monolitiche, nelle quali, cioè, praticamente non entrano in gioco che forze di compressione – mentre noi, oggigiorno, non ci sogneremmo mai di costruire più di sei piani senza utilizzare materiali in grado di lavorare alla trazione – è segno senz'altro di una capacità tecnica e di un'audacia estreme.

Se noi dovessimo oggi costruire le cattedrali dei gotici con i mezzi di cui essi disponevano e con le tecniche che essi impiegarono, non ne saremmo capaci: più esattamente, anche se noi conoscessimo in dettaglio le loro tecniche di messa in opera, non avremmo il coraggio di farlo. Per poter calcolare la resistenza di costruzioni uguali a quelle che i gotici seppero realizzare, sarebbe necessario l'aiuto di calcolatori, e la cosa non dovrebbe essere impossibile: ma se si riuscisse ad effettuare un tale calcolo, è estremamente probabile che si arriverebbe alla conclusione che queste cattedrali non dovrebbero poter stare in piedi, almeno a giudicare secondo le norme abituali e secondo i coefficienti di sicurezza che noi applichiamo.

In ogni caso, simili costruzioni sarebbero del tutto vietate dalle leggi e dai regolamenti che oggi siamo costretti ad applicare. Nessuno fra gli uffici di controllo, i cui nomi – spesso in latino, per dare un'impressione di maggiore serietà – ornano i tabelloni dei cantieri e danno alle nostre costruzioni la garanzia di buona esecuzione, ispirando fiducia al "cliente", potrebbe accettare di garantire le tecniche messe in opera empiricamente nelle cattedrali. Nessuna assicurazione accetterebbe di coprire, anche solo per dieci anni, la responsabilità di quegli audaci costruttori, le opere dei quali, ciò nonostante, resistono da secoli. Non si accorderebbe loro, del resto, neppure il permesso di costruzione: i regolamenti urbanistici, i documenti tecnici, le norme, senza contare le Commissioni di sicurezza, l'ispezione del lavoro, i pompieri, le amministrazioni implicate, i vicini, le associazioni di difesa – insomma, tutti i cittadini e tutti gli organismi seri – vi si opporrebbero.

Ma le cattedrali si burlano di noi, dopo otto secoli: esse hanno resistito non solamente alle intemperie e agli attacchi insidiosi del tempo, ma spesso anche a prove terribili, come i bombardamenti ai quali la nostra epoca le ha sottoposte.

Come possono, queste folli cattedrali, stare ancora in piedi? Come riuscirono i gotici a costruirle? Noi cercheremo di dare un'idea dei problemi tecnici che dovettero essere risolti e delle soluzioni che i costruttori di allora vi apportarono. Approfondendo tali questioni, potremo vedere come la scelta delle soluzioni tecniche, da cui derivò lo stile di quelle costruzioni, sia stata intimamente legata alle condizioni dell'epoca.

La stretta connessione, quasi un'embricatura, dei vari fattori determinanti rende impossibile ogni tentativo di rispettare un ordine assolutamente logico e una progressione rigorosa. Ma noi cercheremo di intraprendere la strada se-

guente: da principio esamineremo quale fosse il “programma” delle cattedrali e come si riuscisse a finanziarlo; poi ricorderemo i problemi generali che si presentano ai costruttori di ogni tempo, così da situare entro confini più ampi l’operazione gotica; passeremo quindi alle soluzioni specificamente gotiche, mostrando come ogni elemento architettonico fosse particolarmente adattato ai mezzi intellettuali, materiali ed economici, nonché agli ostacoli, alle possibilità ed alle aspirazioni dell’epoca. Ma, per mettere a punto in così pochi anni l’architettura gotica – che si presenta, insomma, come la soluzione migliore che fosse possibile in quell’epoca – erano necessarie l’immaginazione, l’astuzia pratica, l’umiltà, la scienza empirica, la tranquilla audacia e la genialità degli architetti gotici.

Il programma e il finanziamento

Le cattedrali sono legate ad uno sviluppo urbano recente: esse sono l’espressione di cittadini che, dopo aver conquistato la loro autonomia con un’aspra lotta, prendevano in mano il loro destino e sentivano il bisogno di affermarlo con orgoglio.

La dimensione delle cattedrali sorprende, poiché molto frequentemente non ha alcuna proporzione con l’importanza della collettività da servire. Si possono menzionare città dove l’intera popolazione riusciva a stare dentro la cattedrale, e altre dove questo edificio poteva contenere più di due volte la popolazione urbana. Non bisogna dimenticare che la cattedrale serviva non soltanto la città, ma anche la regione circostante, e soprattutto che essa non era destinata semplicemente all’esercizio del culto e alla preghiera, che permettevano una forte densità per metro quadrato: sfilate, ricevimenti ufficiali, cavalcate, processioni, giudizi, rappresentazioni teatrali, riunioni politiche, manifestazioni religiose, esposizioni di reliquie ecc. vi avevano luogo regolarmente.

La cattedrale, insomma, era un luogo di riunione per ogni sorta di manifestazioni: alcune di esse, non meno profane che religiose, avevano bisogno di molto spazio, e potevano richiedere dei movimenti tali da esigere grosse aree di circolazione, oppure delle superfici per alzare costruzioni provvisorie di qualunque tipo: pedane, camminamenti, scenari, ecc. Non si lesinavano inoltre le spese per questi edifici, che contribuivano al prestigio della città e dentro i quali ci si doveva trovare a proprio agio. Non vi erano vincoli di superficie da rispettare né limiti massimi di spesa. Le cattedrali, insomma, non erano realizzate con la mentalità e con le concezioni regolamentari e pignole di oggi: discuterne e analizzarle secondo questo spirito sarebbe un anacronismo ed un errore di giudizio. E se, comunque, le si paragonasse con ciò che viene costruito oggigiorno, il vantaggio non sarebbe certo dalla parte del nostro attuale sistema di vita.

La cattedrale, per l'ampiezza della sua superficie in rapporto alla città da servire, ha qualche analogia con gli anfiteatri e con i circhi dell'antichità, le dimensioni dei quali, rapportate a dei nuclei urbani che erano, come si è dimostrato, molto modesti, ci meravigliano ancora adesso: il fatto è che, in occasione di manifestazioni eccezionali – proprio come, ai nostri giorni, per una grande partita di calcio o di rugby, o per un festival – vi si vedeva affluire la popolazione di tutta la regione, aumentata spesso dalle guarnigioni locali. Accadeva lo stesso per le cattedrali quando, in occasione di feste religiose o laiche, di assemblee generali dei cittadini, di mercati annuali, del passaggio di ospiti eminenti o dell'accoglienza di un sovrano, della predica di un uomo di chiesa o di un contraddittorio, di una esposizione di reliquie viaggianti o di un pellegrinaggio, di un giudizio importante o di una rappresentazione teatrale, questi edifici vedevano riunirsi gente venuta da tutta la regione vicina e anche da molto più lontano ancora.

Questo spazio polivalente, concepito come quelli che ai nostri giorni cerchiamo di creare nelle grandi "case della cultura", doveva essere in grado di far fronte a un gran numero di differenti circostanze particolari: per fare un paragone moderno, è un po' come se fossero stati riuniti in un solo edificio a Parigi, oltre che la chiesa principale, anche il Centro Beaubourg, il C.N.I.T. e il Gran Palais. In occasione di assedi, inoltre, la cattedrale poteva essere sistemata per ospitare temporaneamente dei rifugiati provenienti dalle campagne circostanti, insieme alle loro famiglie e forse anche ai loro animali domestici.

Essa era, quindi, la casa del popolo non meno che la casa di Dio: era un luogo familiare, come lo sono oggi le cattedrali italiane, dove il turista straniero si sorprende nel leggere su un avviso: "È vietato circolare nella chiesa in bicicletta".

Allo stesso modo, nel Medioevo, vi si ammettevano i cani, gli sparvieri e talora perfino i cavalli. "Si sa, scrive un autore inglese, che nella stessa cattedrale di San Paolo venivano tenute delle fiere di cavalli proprio dentro la navata. E soltanto in un'epoca relativamente recente simili abitudini cominciarono ad essere giudicate del tutto sconvenienti"[3]. Si discuteva in chiesa di affari profani, di questioni familiari e commerciali e anche, evidentemente, dei problemi della Città.

Sono stati scoperti, in alcune città, documenti ecclesiastici che vietavano di utilizzare la cattedrale per riunioni del comune: ciò conferma pienamente che questo uso era entrato nell'abitudine. La maggior parte delle città che possedevano grandi cattedrali non avevano, nel XIII secolo, un municipio: sembrava logico il "pieno impiego" dei monumenti pubblici e le differenti attività non apparivano fra loro incompatibili. Se nella cattedrale di Londra si teneva il mer-

[3] R.B. Hull, *On all saint's church*, Northampton.

cato dei cavalli, per contro, a Laon, si celebravano ogni anno in chiesa, successivamente, la Festa degli Innocenti a dicembre e la Festa dei Folli all'inizio di gennaio; la cronaca ci informa, inoltre, che nell'agosto del 1476, per facilitare la rappresentazione di un "mistero", la messa venne detta alle otto ed i Vespri vennero cantati a mezzogiorno[4].

Molte fra le chiese romaniche che sono giunte fino a noi erano concepite soltanto per ricevere un certo numero di monaci o per servire un quartiere o un villaggio. Le cattedrali, invece, erano concepite a misura di un'intera città o di tutta la regione circostante. Le campane della cattedrale, come fanno oggi le radio e i transistors, servivano a mandare dei messaggi, a convocare la popolazione e a dare l'allarme fino alla campagne vicine, mentre l'altezza delle torri permetteva di veder arrivare il nemico da molto lontano e di scambiare messaggi con altri punti alti.

La cattedrale non era l'opera di un signore ecclesiastico o laico, anche se un signore poteva contribuire alla costruzione, legandovi il proprio nome, certo più conosciuto dei nomi di quegli umili partecipanti e contribuenti che pure, per le loro offerte, per la loro tecnica, per i loro talenti, avrebbero meritato di non essere lasciati cadere nell'oblio della storia. "Il vescovo era un grande signore. Principe, egli amava che si parlasse di lui. Una nuova cattedrale gli sembrava un'impresa, un successo, la battaglia vittoriosa di un capo militare. Quando Suger descrive le sue imprese architettoniche, lo si sente fremere di vanità. Questa brama di prestigio individuale spiega quel movimento di emulazione che conquistò, uno dopo l'altro, in 25 anni, tutti i vescovi del demanio reale"[5]. Ma, anche se qualche alto personaggio ne ricavava gloria, la cattedrale era essenzialmente l'opera di tutta una città; il vescovo solo non avrebbe potuto realizzarla; il suo finanziamento dipendeva dalla prosperità della città. Suger costituisce un caso particolare: la chiesa di Saint-Denis non era una cattedrale (lo è diventata soltanto nel XX secolo), ma una chiesa abbaziale, privilegiata dal re di Francia, del quale l'abate Suger era il consigliere personale.

Realizzazione collettiva, oggetto di uso comunale, orgoglio della città e luogo di animazione e di riunioni popolari, la cattedrale si presenta così come l'investimento psicologico e finanziario di tutta una popolazione, generalmente per parecchie generazioni.

Le modalità di finanziamento possono spiegare, per una gran parte, la lentezza con cui le cattedrali vennero edificate e la ragione per cui il grande movimento gotico rallentò considerevolmente, non appena la relativa prosperità che aveva permesso quella fioritura architettonica cominciò a declinare verso la fine del XIII secolo e all'inizio del XIV secolo, finì del tutto, in Francia, con le sciagure

[4] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, II, p. 306.
[5] G. Duby, *Le Temps des cathédrales*, cit., p. 136.

della guerra dei Cento Anni, aggiunte a quell'epidemia europea che venne chiamata la "Peste Nera". Questa Cassa di Risparmio Popolare, a cui ognuno, di buon grado o meno, versava il proprio contributo, non restituiva interessi in denaro, ma molti erano persuasi che il loro apporto fosse contabilizzato per l'aldilà. E ognuno poteva veder materializzato, nella cattedrale, il frutto del proprio sforzo finanziario. Il contributo di ognuno era sovente personalizzato: pietre tombali, iscrizioni, vetrate e capitelli ricordano la generosità di un individuo, di una confraternita o di una corporazione. Basta pensare alle 45 vetrate di Chartres, prestigiose immagini di qualità e veri e propri manifesti pubblicitari dei mestieri della città; e ugualmente alle innumerevoli pietre tombali, ai cenotafi, alle lastre con iscrizioni o ai sepolcri che riempiono le chiese di quest'epoca.

Ma non era questo l'unico modo per reperire i fondi indispensabili; tutti i mezzi erano buoni: offerte per il clero, vantaggi onorifici, collette, vendite d'indulgenze o di dispense, esposizioni di reliquie, imposizioni, questue, doni e lasciti, ammende e penitenze, vendite di ceri, messe speciali e fondazioni. Ci si appoggiava ugualmente bene sull'orgoglio e sull'interesse, non meno che sulla fede e sul disinteresse dei benefattori e dei partecipanti di ogni grado sociale.

Come regola generale, la costruzione richiedeva molto tempo, poiché i crediti non erano all'altezza delle ambizioni di costruttori; questo era il motivo essenziale, giacché per il resto i gotici erano capaci di grande celerità sul lavoro, e i loro procedimenti vi si prestavano egregiamente: la chiesa di Saint-Urbain a Troyes, che copre circa 1250 metri quadrati, fu costruita in soli tre anni, dal 1263 al 1266, mentre la cattedrale di Montpellier, la cui superficie è di circa 1500 metri quadrati, fu realizzata in 2 anni e 4 mesi, dall'ottobre 1364 al febbraio 1367.

"Il Medioevo non conosceva i finanziamenti sofisticati e le tecniche di regolazione finanziaria dei secoli più recenti. Il denaro non poteva essere speso se non quando poteva rientrare per altre vie; una volta che fosse esaurito, bisognava sospendere il lavoro. Poiché l'ammontare delle donazioni era variabile da un anno all'altro, variava anche la quantità di lavoro svolto. Era un'economia semplice: finché c'era del denaro nelle casse, il Capitolo poteva permettersi di tenere degli operai al lavoro, ma quando il denaro non c'era più, essi dovevano andarsene"[6].

Per animare la costruzione che, nella maggior parte dei casi, durava decine e anche centinaia di anni, per definire il programma, per raccogliere i mezzi finanziari, per far fronte alle questioni da risolvere, per comandare gli esecutori e per assicurare la continuità del lavoro, ci voleva una direzione che non fosse limitata entro i confini della vita di un uomo: solo una persona morale poteva re-

[6] J. James, *Chartres: 1977-1978, les constructeurs*, S.té Archéologique di Eure et Loire, 3 vol., Chartres 1977, I, p. 14.

sistere alla prova del tempo. Spesso era il Capitolo, spesso un organismo da questo delegato, oppure anche indipendente: la Fabbrica o l'Opera, una sorta di comitato composto da ecclesiastici e da laici nominati dal Capitolo. Questo organismo godeva generalmente di una grande indipendenza nei rapporti col vescovo: sovente, addirittura, si trovava con lui in conflitto. Esso assicurava il proseguimento dell'opera attraverso tutti i contrattempi e le vicissitudini che si potevano incontrare. Così, nel 1803, la Fabbrica della cattedrale di Strasburgo esisteva ancora e si occupava della manutenzione dell'edificio.

Ma, a causa delle difficoltà di finanziamento e dell'ampiezza (che a noi sembra spesso smisurata rispetto alla collettività umana da servire) dell'opera intrapresa, questi "maestri" dovevano vegliare affinché non si facessero spese inutili, affinché la costruzione fosse onerosa economicamente il meno possibile e affinché la Città avesse l'edificio più prestigioso al costo migliore.

Ma, nonostante i prodigi di ingegnosità e una pressione morale certa e costante, si trovavano spesso le più grandi difficoltà nel raccogliere i fondi necessari. Non mancavano certo coloro che criticavano i progetti – ai loro occhi troppo dispendiosi – che dovevano essere realizzati. Bisognava perciò risparmiare al massimo i mezzi di cui si disponeva e cercare di fare il meglio possibile con finanze ridotte: la missione degli architetti era quindi costantemente – e ciò è proprio di ogni tempo – quella di conciliare la qualità, il prestigio e la bellezza con l'economia.

"Oggigiorno, noi non oseremmo intraprendere la costruzione di una cattedrale della dimensione di quella di Noyon con mezzi in apparenza così scarsi, e spenderemmo delle somme favolose per eseguire ciò che nel XIII secolo poteva essere fatto con risorse comparativamente minime. Noi troviamo dispendiose queste costruzioni perché non vogliamo impiegare i procedimenti che allora erano in uso. La cattedrale di Noyon, tuttavia, sta in piedi ormai da sette secoli e, purché venga conservata in modo appena conveniente, potrà durare ancora cinquecento anni"[7].

I "grattacieli di Dio" (secondo l'espressione di Le Corbusier) dovevano anche essere, quindi, delle costruzioni di costo moderato: una stretta economia, un impiego giudizioso delle risorse locali, una minuta organizzazione, una messa in opera senza sperperi e senza spese inutili si imponevano ai maestri che, a guisa di architetti, ingegneri e spesso, nello stesso tempo, di capomastri, organizzavano e dirigevano la costruzione. Per arrivare, in tali condizioni, a realizzare edifici tanto straordinari, bisognava che questi maestri unissero al talento lo spirito pratico. Essi dovevano possedere contemporaneamente una esperienza approfondita dei cantieri, nozioni tecniche sui differenti compiti organizzativi, sui materiali, sull'equipaggiamento e sugli apparecchi

[7] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, IV, p. 52.

da usare, attitudini al disegno, conoscenze intorno alla resistenza dei materiali ed alla statica, buone capacità di trattare con gli uomini e di comandare e infine attitudini artistiche eccezionali. Questi uomini, che avevano ricevuto una formazione esclusivamente pratica e potevano essere, all'origine, dei carpentieri, dei muratori, spesso addirittura degli uomini di chiesa, oppure provenire da qualunque altra professione, dovevano essere e furono, nel pieno significato del termine, degli architetti. La fioritura delle cattedrali e la loro perennità nel corso dei secoli hanno rivelato che molti di loro non avevano soltanto del talento, ma del genio.

Spesso, tuttavia, la ricerca del buon mercato, le difficoltà finanziarie o il ricorso a tecnici insufficientemente qualificati portarono alla costruzione di edifici di scarsa qualità. Smacchi spettacolari contrassegnarono l'epoca gotica. Si può capire, quindi, la grande importanza che gli uomini dell'Opera attribuivano alla possibilità di assicurarsi il concorso di architetti capaci e sperimentati: ciò spiega, del resto, perché in quest'epoca gli architetti ed i tecnici abbiano tanto viaggiato attraverso l'Europa, sia per istruirsi, sia per trasmettere il loro sapere e portare il loro aiuto. Essi contribuirono in tal modo a diffondere le novità tecniche e a creare con esse, a poco a poco, uno stile "alla moda", lo "stile francese" (*opus francigenum*), come era chiamata in quel tempo l'architettura gotica: uno stile di cui si trovano degli esempi dalla Svezia fino alla Spagna, dai confini della Scozia fino in Palestina.

Gli imitatori, operando in condizioni differenti, trasformarono a poco a poco lo stile originale in una caricatura, dove i tratti più vistosi e gli elementi superficiali erano amplificati e generalizzati senza necessità. Nello stesso tempo gli specialisti, che davanti all'ampiezza del mercato erano venuti a poco a poco organizzandosi per la difesa dei propri interessi, cominciarono a sviluppare uno spirito di casta e di monopolio, basato sulla segretezza dei procedimenti e delle tecniche. Questo atteggiamento era molto differente da quello che, all'inizio del XII secolo, esprimeva il monaco Teofilo nel suo trattato tecnico intitolato *De diversis artibus*: "Non ho sottratto nulla di prezioso o di raro con gelosa malignità... Non ho passato nulla sotto silenzio, riservandolo per me solo...".

Come sempre accade in simili casi, il risultato fu la sclerosi e la stagnazione, il regno delle mode e dell'imitazione e la successione degli stili. I costruttori del Medioevo, insieme intellettuali e uomini di cantiere polivalenti, furono sostituiti da capomastri che erano diretti da architetti artisti, spesso più eruditi che tecnici, frequentemente stranieri e privi di contatto con gli uomini di cantiere. L'architetto che, nel Medioevo, apparteneva ancora al mondo del lavoro, durante il Rinascimento se ne separa, diventando un "artista", un "intellettuale", cioè insieme un sapiente ed un umanista nutrito della tradizione antica, ma più sovente classificabile anche fra i "protetti dei grandi, fra i funzionari e i corti-

giani"[8]. "Fra l'appartenenza al mondo del lavoro e l'integrazione nei gruppi privilegiati..."[9], l'architetto, proprio come il professore universitario, ha già scelto il suo campo.

Ma mentre questi artisti, con l'eccezione di poche forti personalità, si chiudevano nel classicismo e nel conformismo, il progresso delle conoscenze e delle tecniche continuava. Così, quando arrivò l'epoca industriale, furono spesso gli ingegneri quelli che ripresero in mano la fiaccola dello spirito creativo.

[8] R. Moulin, in AA.VV., *Les Architectes*, Calmann-Lévy, Paris 1973, p. 14.
[9] J. Le Goff, *Les intellectuels au Moyen Age*, cit., p. 139.

Problemi tecnici

Coprire lo spazio

Il problema di qualunque costruttore è di erigere un riparo, sfidando così la pesantezza: un volume vuoto all'interno del quale gli uomini, o addirittura delle folle, possano riunirsi; la difficoltà di costruire tale riparo è direttamente proporzionale alle dimensioni dell'alveolo realizzato – soprattutto nel senso orizzontale, che è perpendicolare alla direzione della forza di gravità. Più la larghezza è grande senza avere appoggi intermedi, cioè più è grande la "portata", o la "luce", e più aumenta la difficoltà della costruzione. Essa va crescendo ugualmente a mano a mano che i "vuoti" superano i "pieni". È una scommessa particolarmente difficile quella di realizzare costruzioni elevate e di grandi "luci", usando elementi di piccole dimensioni, come delle pietre semplicemente posate, con o senza malta, le une sulle altre. Costruire una piramide di un milione di metri cubi sopra la tomba di un faraone, il cui volume interno non è che di qualche decina di metri cubi e dove le luci, cioè le distanze, fra un appoggio e l'altro non superano i pochi metri, non costituisce un grande problema tecnico, ma solamente un'impressionante manifestazione di massa, di forza e di autorità. Costruire dei ripari larghi cento metri o degli archi di ponte con la luce di un chilometro, in metallo o in cemento armato, oppure sollevare una costruzione in acciaio fino ad un'altezza di trecento metri, tutto ciò richiede l'applicazione accurata di tecniche conosciute, ma non è certo una prodezza. Alzare, invece, senza altra forza motrice che la sola energia umana, fino ad un'altezza di circa cinquanta metri, delle navate di quindici metri di luce, composte di piccoli elementi indipendenti (ognuno non più lungo di qualche decimetro) e inframezzate da grandissime aperture con vetrate (a loro volta composte di piccoli ele-

menti giustapposti), sollevare a questa altezza delle complesse armature capaci di sopportare pesantissime coperture e infine costruire, ancora più in alto, delle torri sormontate da guglie traforate di pietra che si elevino fino a centocinquanta metri di altezza – e sempre con semplici blocchetti posti gli uni sugli altri –, tutto questo implica un'audacia ed una preventiva conoscenza della resistenza e della stabilità dei materiali che sono veramente prodigiose.

Poiché ci rivolgiamo a lettori non tecnici, dovremo esporre in differenti riprese, nelle pagine che seguono, alcune nozioni concernenti la costruzione, nella maniera più semplice possibile. Chiediamo pertanto ai lettori più esperti su tali argomenti, se siamo riusciti ad interessarli fino a questo punto, di scusarci e di non esitare a saltare queste indicazioni elementari.

Che un muro sia composto di pietre sovrapposte o che sia monolitico, in ogni caso il peso stesso obbliga a non superare, alla base della costruzione, il carico che il terreno può sopportare e quindi, ad ogni piano dell'edificio, il carico che le pietre sottostanti possono ricevere senza spezzarsi. Il muro, inoltre, deve sopportare, quanto più è elevato, l'azione del vento che tende a farlo cadere: questo sforzo è laterale e non verticale.

Altri agenti tendono pure a disaggregare la costruzione; non sono degli sforzi statici, ma delle azioni lente ed insidiose: le malattie della pietra, la decomposizione della malta, l'azione del gelo, dell'acqua, dei vegetali (attraverso la loro azione chimica, o anche l'azione meccanica delle loro radici), la dilatazione o il gonfiamento di certi materiali... Premunirsi contro l'azione di questi diversi agenti e garantire la stabilità degli edifici è la missione essenziale dei costruttori. Coloro che, oltre a questo, riescono, nello stesso tempo, a dare bellezza alle proprie opere, sono dei veri architetti.

Se si vuole coprire lo spazio fra due pareti, si presentano parecchie soluzioni: ne esamineremo qualcuna. Si possono posare da un muro all'altro degli elementi costituiti da pezzi singoli, così da formare l'ossatura di una piattaforma orizzontale: ma se si dispone soltanto di legno, la luce, cioè la distanza da un muro all'altro, è limitata dalla lunghezza e dalle dimensioni dei pezzi di legno che si possono estrarre dagli alberi disponibili. I pezzi più grossi, infatti, difficilmente possono superare una decina di metri. Usando la pietra, invece, non si può se non eccezionalmente superare la luce di un metro, e già per questo ci vogliono degli elementi di un peso considerevole: il motivo è che la pietra è un materiale che "lavora" male alla trazione e alla flessione. Ma un elemento collocato orizzontalmente da un appoggio all'altro, come un travetto o un'architrave, lavora alla flessione: esso sostiene, sulla sua faccia superiore, degli sforzi di compressione e, nella sua faccia inferiore, degli sforzi di trazione. Oltre che il legno, pure il metallo o dei materiali compositi come il cemento armato possono "lavorare" in tal modo; ma, nell'epoca che ci interessa, l'uso di putrelle metalliche era fuori questione, mentre il cemento armato non esisteva. La resi-

stenza alla trazione della muratura medievale è stimata di 1 o 2 kg per cm^2, mentre la resistenza alla compressione è di 10 o 12 volte più forte[1].

Un'altra maniera di coprire lo spazio e superare una luce è quella di lanciare da un muro all'altro dei piccoli elementi. Se essi lavorano soltanto alla compressione, si definisce tale costruzione una "volta", che generalmente è fatta in pietre tagliate o in mattoni, legati dalla malta o collocati a secco. Se si tratta invece di elementi capaci di resistere anche alla trazione, questa struttura che chiude lo spazio fra due muri si chiamerà "capriata", e sarà costituita da legno, da metallo, da una combinazione di entrambi o, ancora, da cemento armato. Una capriata, questa sorta di arco ligneo lanciato sopra uno spazio da un supporto all'altro, è realizzata attraverso un'ingegnosa combinazione di elementi che sono spesso molto più piccoli della luce da superare. Le capriate sostengono generalmente delle travi orizzontali, gli "arcarecci", sui quali poggiano i "travetti", disposti secondo l'inclinazione del tetto, che reggono i "correntini" e i "listelli" su cui poggia la copertura, fatta con elementi impermeabili e destinata ad assicurare la protezione contro le intemperie. Lo spazio fra le capriate è limitato dalla lunghezza degli arcarecci: la luce, comunque, dipende soprattutto dalla solidità dei legami fra i diversi elementi uniti insieme. Tali legami "legno su legno" costituivano generalmente dei punti deboli nell'armatura tradizionale, mentre oggi essi vengono rinforzati, o sostituiti, da accessori metallici, come bulloni, staffe, squadre e altri pezzi speciali d'ogni genere.

Ma il legno non ha né la perennità, né la resistenza al fuoco della pietra; d'altra parte, a partire dall'XI e dal XII secolo – abbiamo già visto perché – questo materiale, nei tagli a grande sezione, indispensabili per le capriate e gli arcarecci, si faceva sempre più raro, e in particolare nella Francia del Nord-Ovest. Pertanto, si imponevano materiali come la pietra (che in generale non faceva difetto nell'Europa Occidentale) o i laterizi. Poiché però, quando si oltrepassa la luce di circa un metro, si rileva praticamente impossibile l'utilizzazione di una sola pietra come architrave, diventa necessario, se si vuole superare con pietre (o con laterizi) una luce maggiore, inventare un sistema per tenere insieme gli elementi al di sopra del vuoto che deve essere coperto. L'idea più semplice è di disporre questi elementi in aggetti successivi, fino a che le due pareti arrivino a congiungersi: è la tecnica usata in molte volte arcaiche, come ad esempio in quelle delle tombe micenee. Essa è pure alla base di quelle costruzioni rurali in pietre secche che si trovano in tutto il bacino del Mediterraneo e assumono differenti nomi a seconda dei paesi (*caselles* in Corsica, *granjons* in Linguadoca, *bories* in Provenza, trulli nell'Italia meridionale ecc.). Tale tecnica si è conservata viva per così lungo tempo, che sovente non è affatto

[1] H. Masson, "Le rationalisme dans l'architecture du Moyen Age", in *Bulletin Monumental*, XCIV, Paris 1935, p. 29

facile datare questi edifici. Ma non si tratta, però, di vere e proprie volte; queste, infatti, richiedono degli elementi – i conci – disposti secondo giunti a raggiera, e legati gli uni con gli altri: simili volte, a differenza dei sistemi in aggetto, che sono forzatamente appuntiti, possono essere poco convesse e anche, al limite, piatte nella loro superficie inferiore. Ma questa tecnica introduce nuove difficoltà, come il problema delle "spinte", le quali non sono più verticali, benché prodotte dal peso, e sono tanto più notevoli quanto meno le volte sono "slanciate".

Cercheremo di spiegare in modo semplice questi vari termini, mettendo in evidenza le caratteristiche delle diverse forme di volte, nonché i problemi che esse presentano.

La stabilità delle volte

Tutti hanno avuto l'occasione di salire su una scala doppia, per cambiare una lampadina, dipingere un soffitto o frugare dentro un armadio molto alto. Una scala doppia può rimanere aperta senza cadere, tenuto conto, ovviamente, della natura del terreno e di quella dei piedi della scala, solo se l'inclinazione dei montanti è sufficientemente accentuata. Più i due piedi sono vicini, cioè più è grande il rapporto fra l'altezza e la larghezza alla base, meno la scala avrà tendenza a scivolare: questo rapporto, per ciò che riguarda le volte, si chiama lo "slanciamento". Si sa, per esperienza, che la scala, pur avendo la stessa inclinazione, potrà scivolare facilmente e cadere su un pavimento lucidato a cera, mentre su un terreno ruvido starà in piedi senza difficoltà. Il fatto è che il "coefficiente di attrito" è meno forte nel primo caso che nel secondo: esso può comunque venire aumentato, qualora si rinforzino i piedi della scala con un materiale del tipo del caucciù. Se il coefficiente di attrito è troppo basso, si può anche legare una corda che impedisca alle due parti della scala di allontanarsi l'una dall'altra; è ciò che si chiamerebbe un "tirante", per ciò che concerne le volte. Si possono anche puntellare i piedi della scala contro una parete oppure contro un grosso mobile che, grazie al proprio peso, giocherà lo stesso ruolo che, nel caso di una volta, viene assegnato a un pilone o a un contrafforte. Immaginiamo – cosa che, però, non consigliamo di fare – che i piedi della scala vengano installati su due sedie o su due casse, perché essa venga ad essere più alta: tutto andrà bene se vi è un tirante (oppure se l'apertura della scala è sufficientemente piccola, tenuto conto del peso che essa sostiene); ma se non vi è tirante, la scala potrà reggere se la collocazione dei piedi sui supporti – sedie o casse – è stabilita in maniera conveniente e se il coefficiente di attrito su tali supporti è sufficiente. Ma se la superficie superiore dei supporti è liscia, la scala senza tiranti potrà facilmente scivolare. Se la parte superiore della cassa o lo

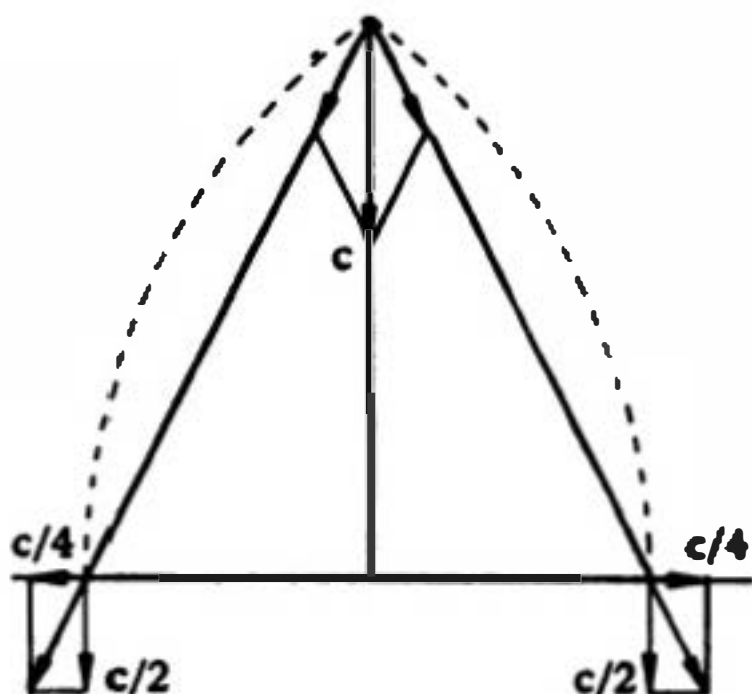
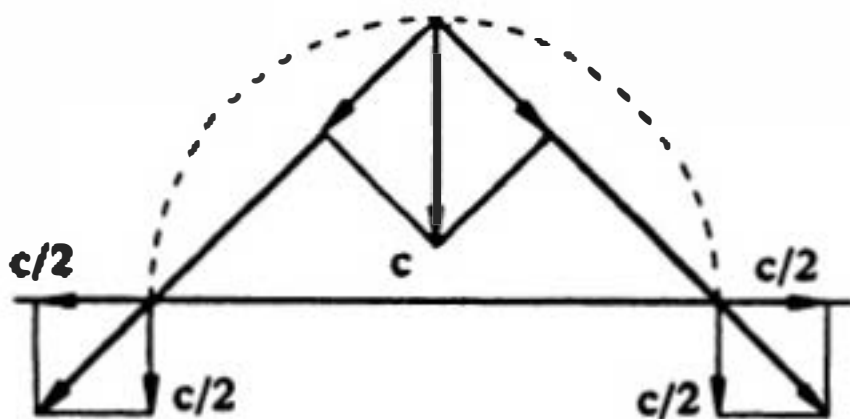
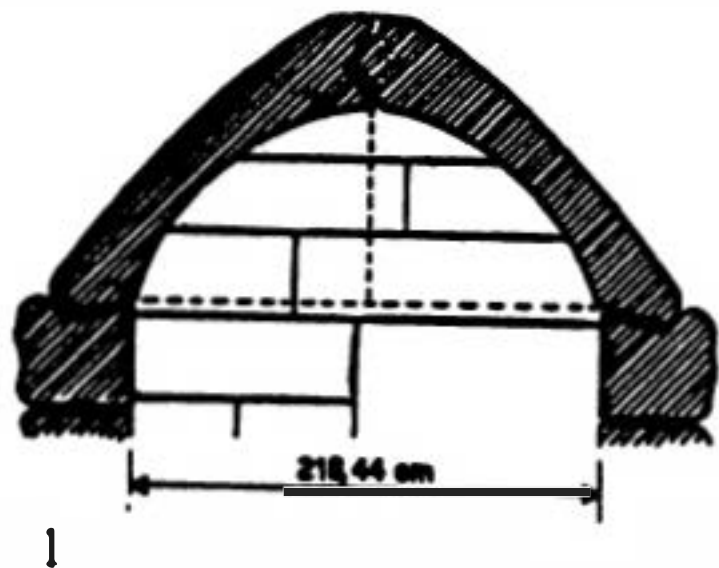
schienale della sedia impediscono lo scivolamento, la pressione della scala può tuttavia far ribaltare i supporti: in entrambi i casi, comunque, un tale fragile edificio crollerà al suolo.

Lo stesso accade ad una volta (o ad un arco) che può, secondo i casi, scivolare dai propri appoggi oppure capovolgersi, a seconda del proprio peso e del peso di ciò che essa sostiene, e a seconda della propria composizione, della disposizione degli appoggi, del coefficiente di attrito delle superfici in contatto ecc. Ma una scala doppia non è in realtà paragonabile che ad un arco, tale da non richiedere che due pietre – due "cunei" – poggianti l'una sull'altra: in questo modo sono costituiti gli archi dell'entrata al tesoro di Atreo o della Porta dei Leoni a Micene, nonché certi piccoli archi elementari di costruzioni antiche o rurali. La nostra scala può anche essere paragonata ad un arco i cui cunei, da una parte e dall'altra del vertice, siano perfettamente legati fra loro grazie alla malta, in modo tale, insomma, che le due metà dell'arco vengano ad essere dei monoliti, come se ne potrebbero costruire, ai giorni nostri, col cemento armato.

Alcune nozioni di statica grafica possono permettere al lettore, sempre partendo dall'esempio della scala che abbiamo proposto in questo capitolo, di comprendere meglio ciò che è in gioco nella struttura di un edificio.

Si rappresentano le forze (pesi, tensioni, ecc.) con dei vettori (delle "frecce") di lunghezza proporzionale alle forze che essi simboleggiano; il senso dei vettori indica la direzione delle forze corrispondenti. I ragazzi che fanno una gara di tiro alla fune a squadre sanno bene che la risultante di due forze direttamente opposte è data dalla loro differenza e che la direzione di questa risultante – cioè il senso nel quale la corda è tirata – sarà quella della forza maggiore.

La statica – ma anche la pratica della vela – ci insegna che una forza applicata al punto di congiunzione di due membranature divergenti (nessuna delle quali si trovi nel prolungamento di quella forza, come è il caso del peso di un uomo che stia sopra una scala doppia) si scompone, lungo questi due elementi (nell'esempio, le due parti della scala), in due forze "componenti". Si può calcolare graficamente il rispettivo valore di ciascuna componente disegnando un parallelogramma, la cui diagonale costituisce il vettore della forza risultante e i cui lati sono i vettori paralleli ad ognuna delle componenti. I vettori così ottenuti rappresentano, alla scala del vettore che simboleggia la forza considerata, i valori relativi di ciascuna forza.

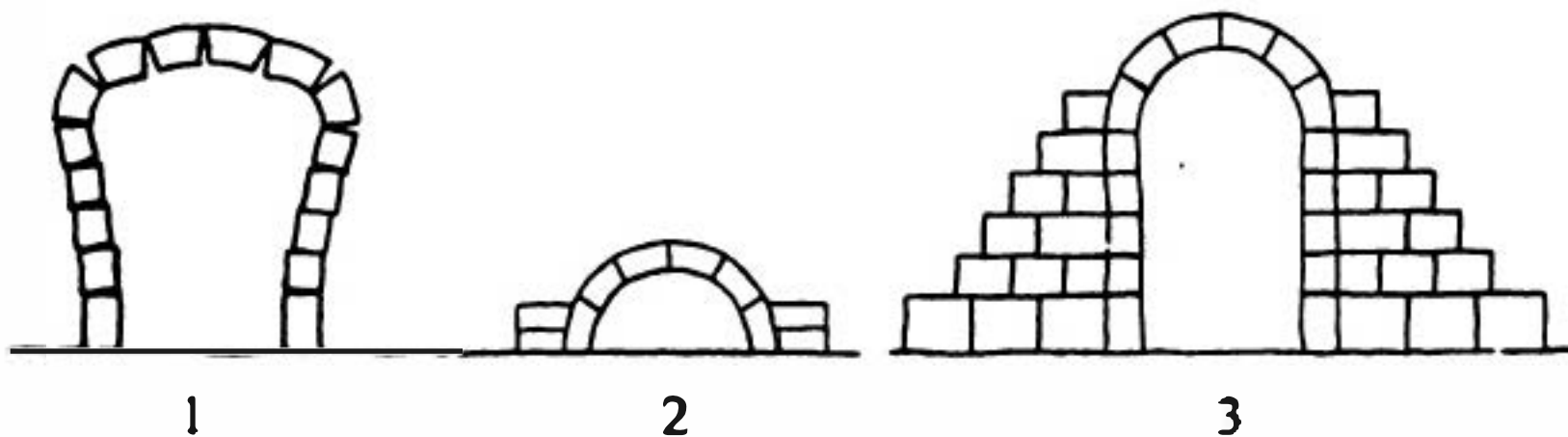
Così, ad esempio, la forza sviluppata da un arciere, che collochi una freccia sulla corda del proprio arco e lo tenda, è esercitata nel prolungamento della freccia: essa si scompone in due componenti, lungo le due parti della corda dell'arco, che si tende sotto lo sforzo. Quando l'arciere lascia la corda, la forza risultante, che egli prima teneva in equilibrio, fa scattare la freccia, esattamente secondo la diagonale del parallelogramma delle forze.

FORZE DI SPINTA NEGLI ARCHI (O VOLTE) E NELLE CAPRIATE

Queste forze variano a seconda dello "slanciamento": tale schema si applica sia a una volta (costituita, per semplificare il disegno, da due soli blocchi), sia ad una capriata. La volta egiziana a due elementi (1: da Rambach e V. de Golish) e l'arco teso (2: disegno di V. de Honnecourt) esemplificando il disegno, che schematizza due capriate, o due volte, di uguale "luce", ma delle quali quella di destra è più "slanciata".

Torniamo all'esempio della scala doppia: un peso gravante dall'alto su una tale scala esercita, sopra ognuna delle sue parti, una forza di cui può essere determinato il valore disegnando il parallelogramma dei vettori. Inversamente, due forze divergenti (ma non opposte) sviluppano una forza risultante il cui valore e la cui direzione sono graficamente determinati dalla diagonale del parallelogramma disegnato a partire dalle due forze "componenti". Queste nozioni sono importanti soprattutto per comprendere l'azione delle volte, la funzione dei sostegni e in particolare il ruolo dei contrafforti e degli archi di spinta.

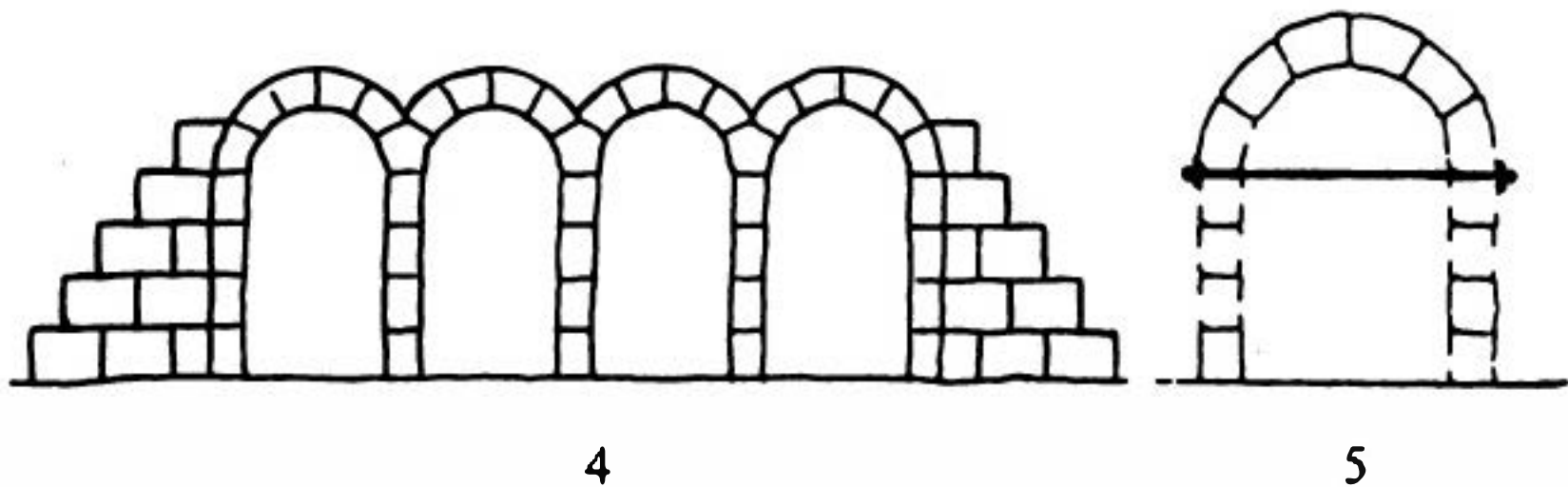
Ma un arco romanico o gotico è normalmente composto da un gran numero di cunei stretti insieme senza malta, o con delle malte di scarsa tenuta, come era la norma in quell'epoca; ad ogni strato o corso (si parla di "letto" quando si hanno molte pietre tutte allo stesso livello), le facce in contatto fra i cunei dell'arco o i "conci" di una volta dovrebbero essere inclinate in maniera tale da risultare sostanzialmente perpendicolari rispetto alla direzione delle forze che si trasmettono, ad ogni giunto, da un cuneo all'altro: così questi elementi non avranno tendenza a scivolare gli uni sugli altri e le forze si trasmetteranno e si accumuleranno fino alla parte inferiore della curvatura.

Poiché vi si vanno aggiungendo i pesi di ogni strato e di ogni cuneo successivo, queste forze sono dunque sempre più intense e importanti a mano a mano che ci si approssima alla base. Tenuto conto del peso delle volte e di ciò che grava su di esse, la direzione della forza risultante da queste molteplici tensioni alla base dell'arco, da entrambi i lati, è obliqua: le leggi della statica mostrano, infatti, che questa "risultante" si scompone in due "componenti": una è verticale, ed è il *peso*; l'altra è orizzontale, ed è la *spinta*. Il peso è ricevuto dalle fondamenta e annullato dal suolo, se esso è sufficientemente resistente. Ma la spinta deve essere compensata da forze antagoniste: attrito, resistenza di appoggi, di contrafforti o di tiranti o spinta di altre volte o di archi vicini. La stabilità è migliorata dai pesi che gravano sui supporti o sulle spalle di una volta, poiché non soltanto questi pesi aumentano l'attrito, riducendo in tal modo la spinta, ma contribuiscono anche a ricondurre verso la verticale la risultante delle forze che passa su quegli elementi. Così, mentre un peso che preme sulla parte superiore di un arco contribuisce in parte ad aumentare la spinta, il peso che grava sulla parte inferiore dell'arco, o sui suoi appoggi, riduce tale spinta ed aumenta la stabilità.

In generale, l'arco non starà in piedi da solo senza un tirante o senza una spalla: esso dovrà, in un modo o in un altro, essere bloccato o "spalleggiato". Degli archi successivi, formanti un'"arcata", si appoggiano gli uni agli altri, se hanno le rispettive basi più o meno allo stesso livello e si trovano su un medesimo piano verticale: il problema delle spalle riguarda allora le due estremità dell'arcata. Una massa di roccia o di terra può costituire una spalla per quelle volte le cui basi siano interrate: è il caso, ad esempio, di molte cripte, ma anche delle gallerie con soffitto a volta. È una soluzione economica che resta concorrenziale, anche ai nostri giorni, davanti alle possibilità offerte da materiali moderni come il cemento armato o l'acciaio: le gallerie della metropolitana o della maggior parte delle strade sotterranee ne sono la prova. Si può anche ricorrere a dei tiranti di ferro, che uniscano le basi dell'arco per sopprimere l'effetto della spinta: questo dispositivo esiste in molte moschee e in molte chiese. Ma un tale artificio richiede l'uso del ferro, cioè di un materiale a cui soltanto da pochi secoli si è in grado di assicurare una composizione regolare e di buona resistenza alla trazione e di cui si riesce a calcolare la sezione necessaria; ed è un materiale, inoltre, soggetto a corrosione. Per tali motivi, questa soluzione è adottata soprattutto nei paesi con un clima secco e comunque, anche in questi luoghi, presenta col tempo alcuni rischi. I gotici usarono delle catene di legno, ma essenzialmente come tiranti provvisori per contenere le spinte, in attesa che i muri laterali fossero assicurati dall'armatura e dalla copertura: queste catene venivano in seguito tagliate, ma se ne possono vedere sovente ancor oggi le tracce, al di sopra dei capitelli, in particolare nella cattedrale di Parigi, ma anche in quelle di Laon, di Amiens e di Soissons.

STABILITÀ DEGLI ARCHI E DELLE VOLTE
1) Schema di deformazione in assenza di sostegni
2) e 3) Sostegni rapportati all'altezza della volta: a seconda di essa, semplici spalle o contrafforti

I gotici avevano capito i grandi vantaggi che si sarebbero potuti ricavare "armando" le strutture murarie, per far reggere ad esse gli sforzi di trazione, una tecnica che il XX secolo ha realizzato, grazie al cemento armato. Ma le esperienze nell'uso di catene di ferro immerse nella muratura, allo scopo di garantire a questa una maggiore solidità, ebbero dei risultati generalmente infelici, poiché la ruggine provocava il gonfiamento delle catene, e ciò causava delle rotture nelle pietre e delle fenditure visibili: nella Sainte Chapelle, ad esempio, le catene collocate sotto i sostegni dei finestroni si sono gonfiate a tal punto da rompere alcuni piantoni. Le varie precauzioni, prese alla luce dell'esperienza dai costruttori – catene colate al piombo, ricoperte di malta o di mastici speciali – non furono sufficienti a proteggere questi elementi: il sistema fu pertanto abbandonato e nel XV secolo, quando sembrava prudente disporre delle catene di ferro, le si collocava all'esterno della muratura, in maniera che fossero visibili, per poterle sorvegliare e aggiustare. D'altra parte, la difficoltà di forgiare elementi molto lunghi di ferro obbligava a costituire delle catene composte da elementi successivi agganciati gli uni agli altri, aggraffati o inchiavettati. Ma in ogni caso questo metallo, caro e raro nel XII secolo, era riservato quanto più possibile agli usi per i quali era assolutamente indispensabile e in primo luogo, beninteso, a quelli militari. Armati di ferro e vestiti di ferro, i soldati dell'epoca erano infatti i maggiori consumatori di questo metallo. Si tentò quindi, generalmente, di contrastare le spinte con i soli pesi degli elementi di spalla della costruzione: bisognava anche, secondo logica, ridurre queste spinte ogni volta che fosse possibile, alleggerendo tutte le parti della costruzione che le provocavano.

Le pietre, in generale, non facevano difetto, ma sia l'estrazione sia il trasporto costavano caro: era un motivo in più per fare un uso quanto più possibile razionale di questo materiale. Anche l'alleggerimento della costruzione – con cui si riducevano insieme le spinte e il volume delle pietre da utilizzare – costituiva

4 5

4) Nelle arcate (archi successivi) le spinte (uguali a quelle di un solo arco) si riscontrano alle estremità dell'arcata
5) Anche un "tirante" (come in una capriata) permette di contrastare la spinta: è spesso una soluzione di ripiego o di economia

un obiettivo importante per i costruttori. "Tutta l'evoluzione progressiva dell'architettura nel Medioevo tendeva verso una maggiore leggerezza e verso l'eliminazione del superfluo, con la conseguenza di un'economia sia nella struttura materiale, sia nella messa in opera"[2].

Questa economia si manifesta, in particolare, nella massa delle sovrastrutture: "Innumerevoli esempi dimostrano, scrive Fitchen, che quasi immediatamente gli spessori delle volte furono ridotti della metà, o anche meno, rispetto a come erano abitualmente nei sistemi di costruzioni anteriori. Poiché ciò riduceva il peso della volta di circa la metà e diminuiva correlativamente la spinta, i costruttori potevano, a questo punto, costruire una chiesa di dimensioni simili a quelle degli edifici più antichi coperti da volte a botte o da volte a crociera, ma usando assai meno materiale"[3].

Inoltre, grazie all'ingegnosità delle soluzioni gotiche, questa riduzione della quantità del materiale messo in opera, in rapporto al volume delle costruzioni, andava a tradursi in strutture più eleganti, più aperte, più aeree e molto meglio illuminate.

Il problema delle centine

Finché un arco (o una volta) non sia terminato e, come si dice, "chiuso" – ed è con la "chiave" che si chiude la volta – è necessario sostenere il peso con delle

[2] J. Fitchen, *The construction of gothic cathedrals. A study of medieval erection*, Clarendon, Oxford 1964, p. 87.
[3] *Ivi*, p. 106.

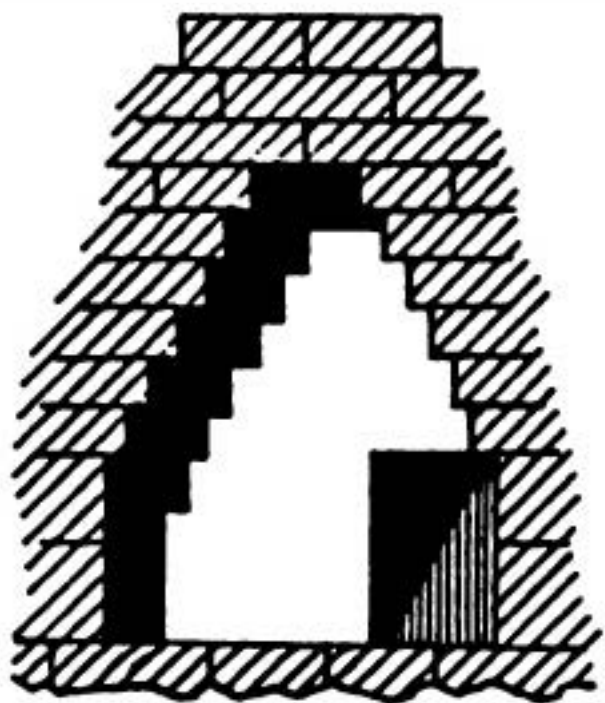
strutture provvisorie – le centine – la cui parte superiore abbia la forma dell'intradosso dell'arco o della volta da costruire; nel caso di una volta a botte, le centine successive devono essere alquanto ravvicinate, affinché si possa collocare, da una all'altra, una piattaforma molto resistente che segua la curvatura voluta e sulla quale si dispongano i vari strati di pietre. Una centina – cui spetta di reggere un peso considerevole, fino a quando la volta non sia terminata – deve essere costruita a misura di tale scopo.

Per costruzioni che non implichino sovrastrutture è possibile utilizzare, come centina, della terra compressa e disposta secondo la forma voluta: un tale procedimento è stato usato in tutti i tempi. Se invece la volta è in elevazione, bisogna appoggiare la centina sul suolo tramite l'intermediario di una costruzione provvisoria. Se la volta da costruire si trova a grande altezza, diventa difficile, a meno di utilizzare quantità considerevoli di legno, appoggiare la centina sul suolo: essa dovrà allora sostenersi, da una parte e dall'altra, sopra gli elementi stessi da coprire; sul ponte sul fiume Gard si vedono degli aggetti che erano destinati a ricevere le centine. In casi simili, le centine sono costruzioni assai elaborate e pesanti; il loro montaggio e il loro successivo smontaggio richiedono un lungo e difficile lavoro. Talora è possibile progettare uno spostamento delle centine senza smontaggio, se si lavora con parti successive standardizzate, da riutilizzare; ma un tale procedimento, adottato normalmente ai nostri giorni, era difficile da mettere in pratica, con i rudimentali mezzi dell'epoca, per delle centine pesantissime e collocate su appoggi di altezza molto elevata.

Si può comprendere, in tali condizioni, l'estrema importanza, soprattutto quando c'era penuria di legname, di una riduzione, di un alleggerimento e di una semplificazione di queste costruzioni provvisorie. Diversi dispositivi – in particolare delle sporgenze, degli aggetti o dei buchi lasciati nei muri (che sono spesso coperti, in seguito, da elementi decorativi, teste scolpite o blasoni) – facilitano la costruzione delle impalcature, destinate a permettere agli operai di lavorare all'altezza necessaria e di trasportarvi i materiali, seguendo da vicino lo sviluppo progressivo della muratura. Simili tecniche di costruzione possono rendere più facile l'appoggio delle centine. Ma, in definitiva, l'importanza e la quantità del legno richiesto da queste strutture dipendono principalmente dal peso degli archi e delle volte, che esse dovranno sostenere.

Alcuni sistemi di costruzione permettono di economizzare e perfino di evitare le centine. Le *bories*, cioè i trulli, quelle costruzioni rurali in pietre secche alle quali abbiamo già fatto riferimento, sono formate da successivi strati di pietre, ognuno dei quali è leggermente sporgente rispetto allo strato precedente; come tali, esse possono essere costruite senza ricorrere a centine. Anche degli edifici di grandi dimensioni, come le tombe di Micene, sono costruiti secondo questa tecnica arcaica. Per vere e proprie volte, fatte con giunti disposti a raggiera, i costruttori hanno spesso utilizzato questa tecnica limitatamente agli strati di

pietre inferiori; questo accorgimento, che dà luogo al cosiddetto *tas de charge*, permette in particolare di iniziare la centina più in alto – là dove comincia la volta vera e propria, della quale si possono in tal modo ridurre l'altezza e la larghezza effettive. Ma i costruttori hanno anche spesso messo a profitto la rugosità delle pietre o dei mattoni e l'aderenza delle malte, le quali permettono, fino ad una inclinazione dei giunti del 15-20% circa, di collocare una pietra senza che essa scivoli.

Gli Indù hanno cercato, come i gotici, di elevare i loro templi quanto più in alto possibile; ma la torre del tempio di Konarak, che venne costruita nel XIII secolo ed arrivava a 120 metri d'altezza, crollò al suolo, ed ora il monumento

COPERTURE AD AGGETTI SUCCESSIVI

1) Galleria nella piramide di Cheope (Egitto, da J.L. de Cenival)

2) e 3) Templi indù dell'VIII e del X secolo (da Rambach e V. de Golish)

4) Oratorio del VII secolo in Irlanda, vicino a Ballynagal

più alto di Konarak, il *mandapa,* cioè la sala del tempio, non raggiunge che i 70 metri d'altezza.

Ora, gli edifici degli Indù (i quali, come tanti altri popoli dell'Oriente, trovavano certamente delle difficoltà nel procurarsi legname per le centine) non utilizzano la volta, ma sono costituiti soltanto da stratificazioni successive di pietre in aggetto, secondo la tecnica dei trulli e delle tombe micenee. "Non vi sono volte, che pure rappresentano l'impiego razionale della pietra nella copertura"[4].

L'equilibrio di questi edifici, d'altronde, ne risulta ancora meglio assicurato, senza bisogno di spalle o di archi rampanti, poiché le spinte, essendo i volumi molto slanciati, sono assai ridotte e facilmente compensate dal peso delle masse della costruzione.

Se proprio la cupola, fra i diversi tipi di volta, si è a tal punto sviluppata nelle architetture arabe, orientali e nordafricane, anche nel caso di costruzioni semplicissime e rustiche, è certamente perché questa copertura può essere costruita senza centine, il che è di fondamentale importanza in paesi poveri di legname. L'esempio degli igloo degli eschimesi è ugualmente un'ulteriore conferma.

"In Oriente, segnala Viollet le Duc, i muratori non costruiscono centine di armatura per chiudere una cupola, ma si accontentano di un'asta di legno, attaccata al centro della cupola, che essi manovrano in ogni direzione, costruendo la muratura secondo il raggio dato dall'asta"[5]. Alle soglie del Rinascimento, l'architetto Brunelleschi, che fu molto impegnato dal problema di ridurre o di sopprimere le centine, escogitò delle soluzioni ingegnose per la costruzione del Duomo di Firenze: egli utilizzò il medesimo sistema, "una canna o pertica fissa alla base e ruotante su se stessa... così da toccare con la sua parte mobile i mattoni e le piastrelle..."[6], per la costruzione della Cappella San Jacopo di Borgo sull'Arno. Conosceva il procedimento orientale? I contemporanei, che riferirono il fatto e ammirarono l'ingegnosità del sistema, ne attribuirono a lui la paternità.

Tuttavia la cupola è, in ogni caso, una superficie non sviluppabile, per la quale è difficile realizzare una centina continua di legno. È difficile, d'altra parte, aprire nelle cupole dei fori di illuminazione e, dal punto di vista estetico, una successione di cupole non ha certo l'unità di una volta dal colmo continuo. La costruzione delle cupole presenta diversi altri problemi che noi possiamo ricordare. Cosi, ad esempio, la puntellatura contro le spinte alla base della volta, che tendono a farla scoppiare, è realizzata, nel caso delle cupole, sia da cinture di ferro infilate dentro i giunti degli strati di pietre, sia in muratura da contrafforti periferici con muri a raggiera formanti le spalle, o delle volte antagoniste. A

[4] P. Rambach e V. de Golish, *L'Inde. images divines*, Arthaud, Grenoble 1954, p. 21.

[5] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, IV, p. 351.

[6] Estratto dalla *Vita di Brunelleschi* di A. Manetti [*Vita di F. Brunelleschi preceduta da La Novella del Grasso*, Ediz. critica a cura di D. de Robertis e G. Tanturli, il Polifilo, Milano 1976].

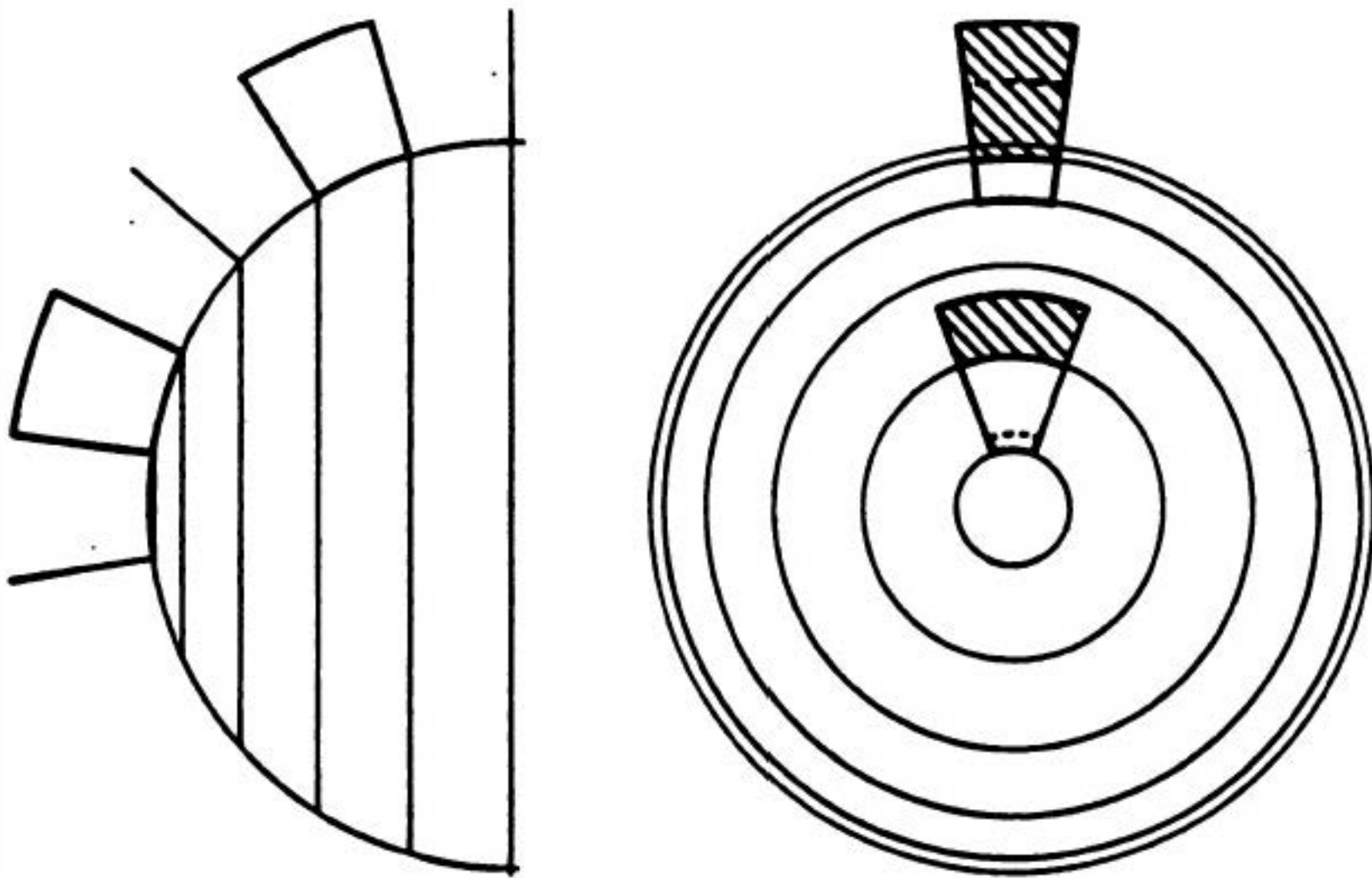
CUPOLE

1) Sistema orientale di costruzione delle cupole (utilizzato anche da Brunelleschi)
2) Costruzione di un igloo mediante un unico strato continuo a spirale (da mettere in rapporto con i metodi tradizionali di confezione di canestri e di cappelli)

causa degli inconvenienti della prima soluzione (fra i quali il costo del ferro), venne generalmente adottata la seconda dai costruttori di cupole romaniche.

Il raccordo tra la forma circolare della cupola e lo schema, generalmente quadrato, dell'edificio che essa ricopre è un'altra difficoltà sollevata da questo tipo di volta: per risolvere il problema, i costruttori idearono molteplici soluzioni, che non entrano però nel quadro del nostro studio. La cupola, infine, presenta un inconveniente particolare per la costruzione in pietre tagliate. I conci di ogni strato successivo di pietre sono disposti orizzontalmente secondo anelli di raggio sempre più piccolo (e non secondo i grandi cerchi della sfera) ed i loro giunti verticali devono essere alternati da uno strato all'altro: essi sono, insomma, di forma differente ad ogni strato. Ciò obbligava, in quel tempo, a tagliarli, o almeno ad adattarli e a ritagliarli direttamente sul luogo. A parte le considerazioni estetiche sull'unità, e in particolare sulla continuità delle volte nelle navate e sulle difficoltà di illuminazione, questa complicazione costruttiva dovette grandemente contribuire a far sì che un tale tipo di volta, nonostante i suoi vantaggi, non fosse adottato dagli architetti gotici. Esso, infatti, si adatta meglio ad una costruzione in mattoni sottili, dove lo spessore variabile dei giunti contribuisce a dare la progressiva inclinazione.

Un altro sistema è quello degli archi di sbieco, appoggiati su un muro trasversale di partenza; questa tecnica antica, già riferita da Choisy[7], si è perpetuata

[7] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 9.

SCHEMA DELLA CUPOLA SFERICA

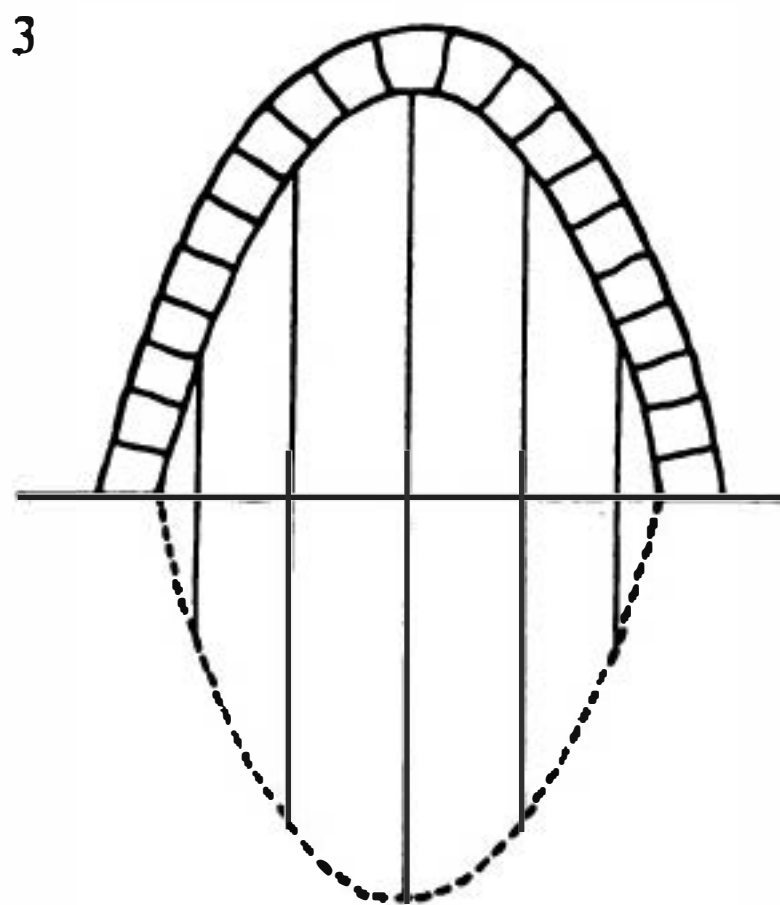
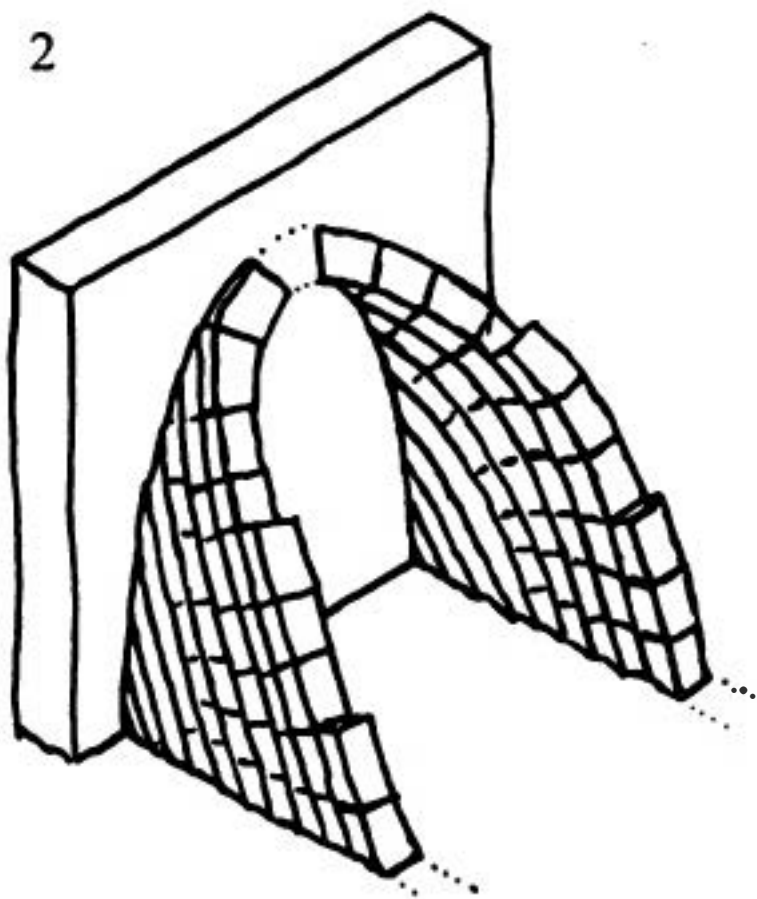
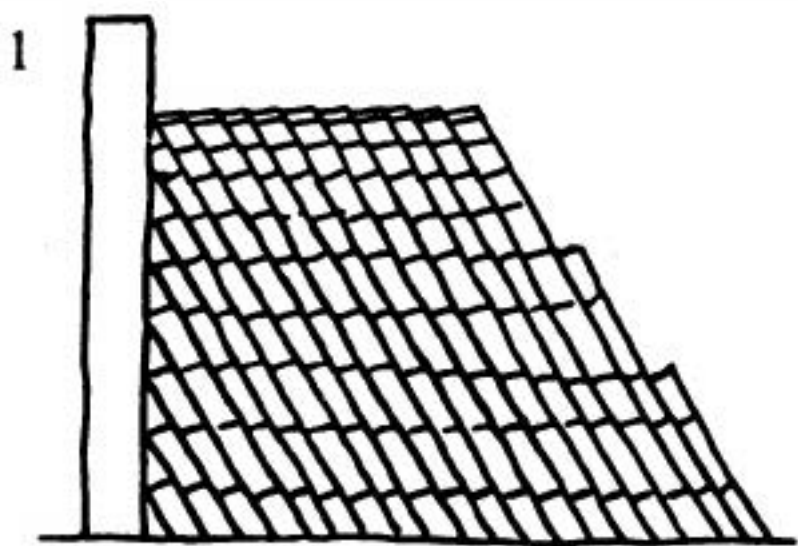
I conci di pietra sono diversi per ogni strato: questi ultimi sono costruiti su cerchi orizzontali di diametro sempre più piccolo. I due esempi di conci mostrano le differenze ad ogni strato.

nell'architettura popolare egiziana. Il sistema viene realizzato, in questo caso, tramite delle volte a sezione ovale, ma senza possibilità di penetrazione o di illuminazione sul livello delle volte. Viene usato anche nel caso di volte con arco a tutto sesto, come nel Ramesseum in Egitto. Ho potuto osservare ugualmente questo procedimento in una costruzione con copertura a volta che è vicina al teatro di Erode Attico, sul fianco della collina del Partenone ad Atene.

Romanici e gotici impiegarono frequentemente, soprattutto per gli atrii, il sistema di più volte concentriche, ognuna in leggero aggetto sulla precedente, messe in modo tale da formare una specie di pigna ampiamente svasata, a sbalzi: soltanto l'arco iniziale richiedeva un supporto, un'armatura o un timpano collocato sopra una porta. Già gli arabi avevano utilizzato questo motivo: si può vedere, ad esempio, sulle pareti del *mirhab* della Moschea di Cordova un motivo di archi concentrici ritagliati in festoni che ricorda curiosamente l'atrio della chiesa romanica di Dorat (Haute-Vienne), che si trova proprio un poco a Sud di Poitiers, il punto dove fu bloccata da Carlo Martello, nel 732, l'avanzata verso Nord degli Arabi.

I portali e i "pennacchi" (utilizzati per raccordare una cupola ad una base quadrata) sono spesso composti da archi concentrici ad aggetti successivi, gli uni sugli altri. Solo il primo richiede degli appoggi, che possono essere dei muri a

mo' di timpani, o un angolo di due muri (a meno che l'arco non parta da una semplice pietra in sporgenza o da una mensola).

Nella tecnica detta delle scale "alla saracena" (ancora normalmente impiegata ai nostri giorni negli immobili), gli specialisti, a partire da un certo numero di punti tracciati sui muri, e cominciando da un angolo, realizzano in mattoni "a vista", rinforzandoli con un arco di spinta, senza alcun appoggio provvisorio contro le pareti della gabbia delle scale, delle superfici sghembe assai eleganti, per le quali sarebbe estremamente difficile allestire delle casseforme: si fanno anche, nel Midi della Francia e nei paesi mediterranei, delle volte in mattoni cavi secondo il medesimo principio, utilizzando dei leganti a presa rapida, come il gesso.

VOLTE SENZA CENTINE AD ARCHETTI INCLINATI

Sistema tradizionale del Medio Oriente e dell'Egitto.

1) Veduta laterale

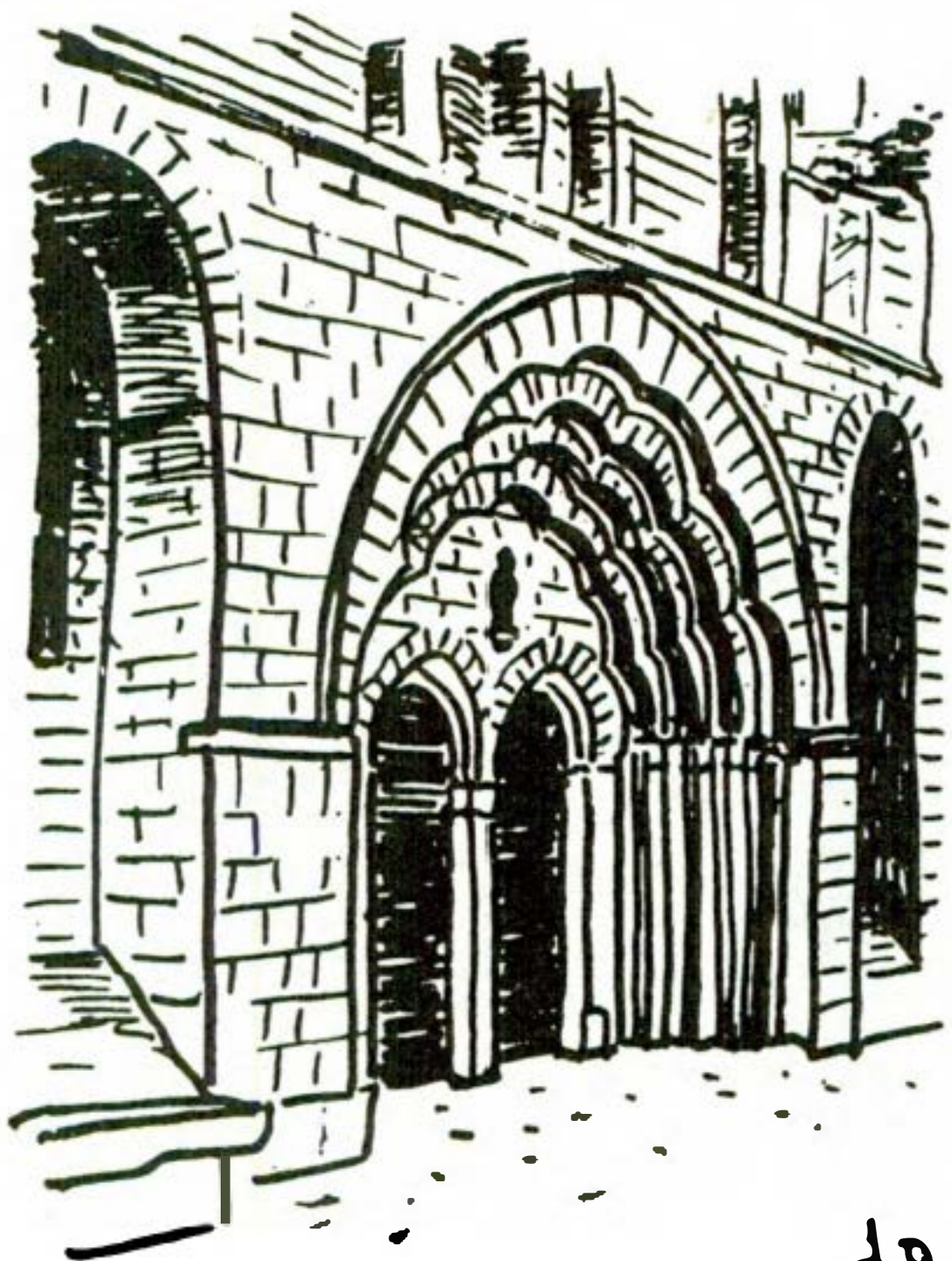
2) Prospettiva: su questa prima volta, con funzione di centina, si possono in seguito costruire una o più volte con normale struttura a chiave

3) Tracciato della volta a "catenaria"

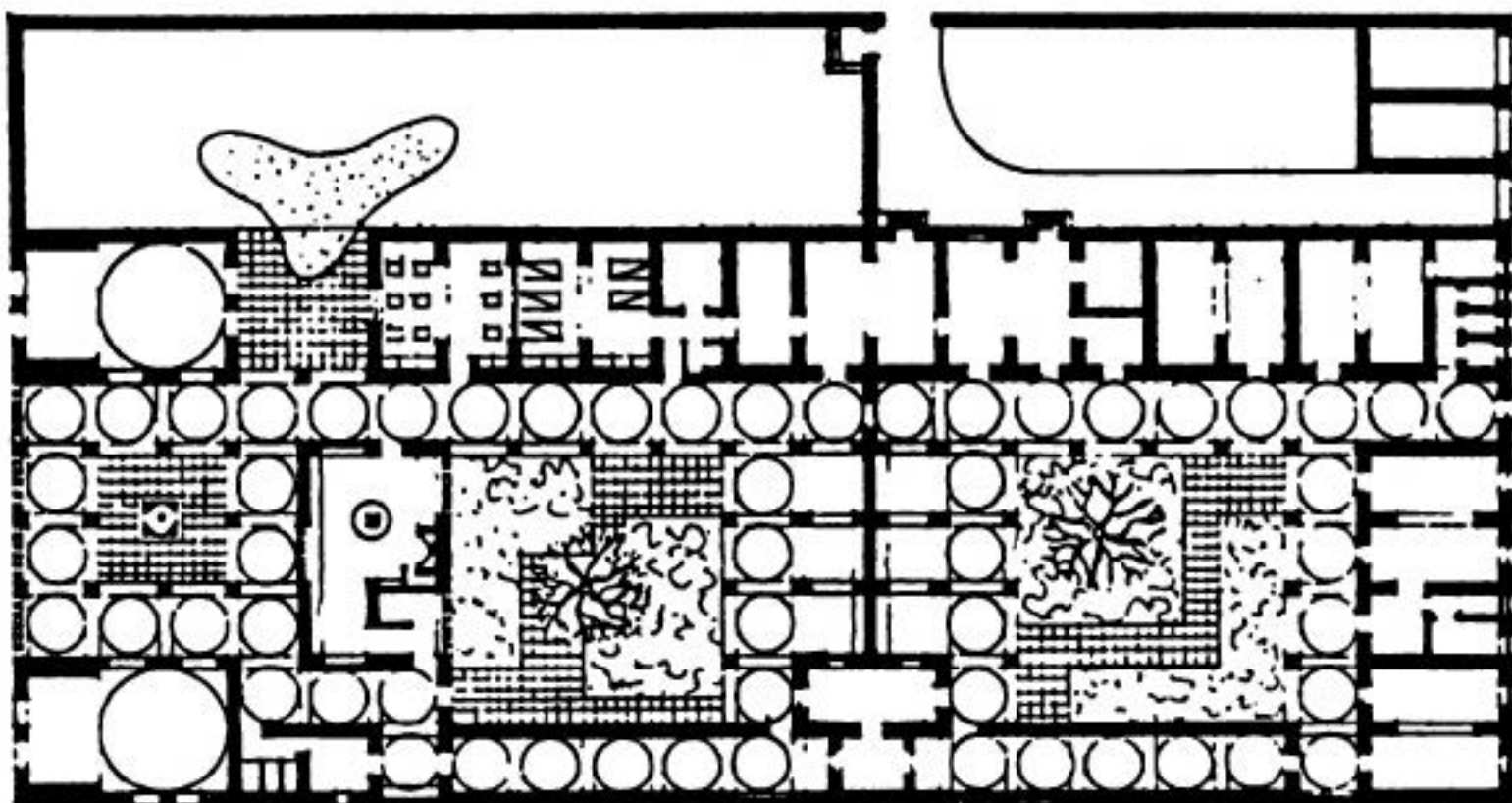
Questo tipo di tecnica non è limitato a elementi leggeri come i mattoni cavi: la si impiega anche servendosi di mattoni pieni. Bisogna leggere la vivace descrizione che dà l'architetto egiziano Hassan Fathy, nel suo libro *Costruire per il popolo*, della scoperta da lui fatta della tecnica popolare egiziana per costruire volte in mattoni senza centine. "In ogni stanza vi erano i due muri laterali, distanti circa tre metri, e il muro di fondo, un poco più alto, sul quale la volta doveva appoggiarsi. I muratori posero due tavole sui due muri laterali, vicino al muro di fondo, vi salirono sopra, presero delle manciate di fango e formarono grossolanamente un arco, applicando il fango sul muro di fondo. Senza utilizzare alcuno strumento di misura, riuscirono a tracciare ad occhio una parabola perfetta, terminante sui muri laterali. Poi, con la marra, sgrossarono l'impasto di fango per dare ad esso un contorno ben preciso".

Questa realizzazione degli egiziani, questa curva tracciata sul muro, a partire dalla quale essi riescono ad alzare la volta nello spazio, non è cosa diversa dall'arco "di forma" che, tracciato a piatto su un muro laterale anche inframmezzato da finestre, serve ugualmente da "forma", cioè da guida per costruire l'intersezione della volta con la parete e per permettere di stabilirne con esattezza le misure.

Hassan Fathy così descrive il procedimento: "In seguito, ognuno da un parte, essi incominciarono a disporre i mattoni. Il primo mattone veniva messo dritto sul muro laterale, con la faccia scanalata appoggiata di piatto contro l'impasto di fango del muro di fondo, e veniva incastrato in questo impasto. Poi il muratore prendeva un poco di fango per fare una sorta di zeppa alla base del primo mattone, così che il secondo strato veniva ad essere leggermente inclinato contro il muro di fondo, invece di essere verticale. Per evitare che i giunti dei mattoni formassero una linea, il secondo strato cominciava con un mezzo mattone. Se infatti i giunti dei mattoni fossero allineati, la volta avrebbe una minore solidità e rischierebbe di crollare. Il muratore metteva una zeppa più grande fra il secondo e il terzo strato, così che questo deviava ancora di più dalla verticale. In tale maniera i muratori costruivano a poco a poco gli strati inclinati, ognuno dei quali saliva un po' più in alto, seguendo il contorno dell'arco, fino al punto in cui le due curve di mattoni si raggiungevano in alto".

Dopo aver fornito alcuni dettagli tecnici sul tipo di mattoni impiegato dai muratori egiziani, l'architetto prosegue la sua descrizione: "Si aveva così una superficie inclinata, per posarvi gli strati successivi; tale inclinazione impediva ai mattoni di cadere. È così che la volta poteva essere costruita direttamente nello spazio, senza supporto né centina, senza strumenti e senza disegni; vi erano soltanto due muratori su una tavola e un aiutante, da sotto, che lanciava loro i mattoni; essi li afferravano con destrezza, li sistemavano con disinvoltura contro il fango e li aggiustavano con la loro marra. Era talmente semplice! Lavoravano rapidamente e con imperturbabilità, senza pensare un solo istante che ciò che

ARCHI CONCENTRICI AD AGGETTI SUCCESSIVI
Uno dei numerosi esempi di questo motivo, prediletto dai romanici e dai gotici per gli atrii e spesso per i "pennacchi". Questo portale-ovest della chiesa del Dorat (Haute-Vienne) ricorda curiosamente un dettaglio della grande moschea di Cordova.

facevano era una notevole prodezza tecnica: quei muratori, infatti, lavoravano con una straordinaria conoscenza intuitiva delle leggi della statica e della scienza della resistenza dei materiali".

Si vede dunque che, a condizione di mettere a profitto la possibilità di sostenere progressivamente gli strati o gli archi successivi formati dagli elementi impiegati – mattoni o pietre – appoggiandoli su elementi della costruzione già sul posto (muri, arcate o nervature), situati faccia a faccia oppure formanti un angolo fra loro, è possibile costruire intere parti di volte senza l'uso di centine. È una tecnica che, sotto forme differenti, è di ogni tempo, giacché garantisce quella economia di strutture provvisorie di legno che si è imposta come una necessità, in così tante circostanze, a infiniti costruttori.

CUPOLE E VOLTE A BOTTE

Questa pianta mostra la moltiplicazione di piccole cupole (gli altri locali sono coperti da volte a botte) in un edificio costruito alla maniera tradizionale dagli abitanti di Gourna, sotto la direzione di Hassan Fathy.

Nei paesi dell'Europa Occidentale, dove doveva svilupparsi l'architettura gotica, le centine posero pochi problemi, finché gli edifici si mantenevano di dimensioni modeste ed il legname restava abbondante. Ma la situazione doveva cambiare rapidamente fra l'XI e il XIII secolo, soprattutto nei centri urbani e nelle regioni dove più forti erano gli attacchi contro le foreste produttrici. I tipi di volta utilizzati dai romanici, infatti, richiedevano, nel corso della costruzione, un supporto sotto l'intera superficie; ciò implicava l'uso di una notevole quantità di legno per le armature, legno che poteva essere ancora reimpiegato, ma con delle perdite, e che, per il resto, serviva da combustibile. Si utilizzavano anche, talvolta, delle centine mobili, che si chiamerebbero oggi "scorrenti", con le quali era possibile lavorare per sezioni successive: dispositivi di tal genere vennero certamente adoperati. Ma la presenza di archi doppi e di pilastri sporgenti poneva dei problemi difficili da risolvere: il sollevamento e lo spostamento di elementi molto pesanti erano poco compatibili con i mezzi dell'epoca; questo sistema, infine, rendeva molto complicata l'armatura dei supporti di centine. Le volte romaniche, in ogni caso, costituivano un peso notevole di muratura da sostenere durante la costruzione, e richiedevano, pertanto, l'uso di molto legname e di sezioni molto grandi di esso.

Erano, insomma, delle tecniche possibili là dove si disponeva facilmente di legname.

Bisogna anche pensare che non doveva essere molto facile trovare la mano d'opera qualificata che fosse in grado di montare e di smontare a una grande al-

tezza simili costruzioni provvisorie, in un'epoca in cui il ferro era raro, i bulloni inesistenti e gli strumenti di sollevamento mossi interamente a mano. Ci si rappresenti il peso formidabile di queste volte massicce che, fino all'ultimo momento della chiusura con la chiave, posavano su queste centine di legno; si immaginino le grandi puntellature rese necessarie nei casi di volte a crociera, dove le spinte si manifestano anche nel senso della lunghezza della navata. Non sarebbe stato possibile, in tali condizioni e con le tecniche romaniche, lavorare su archi di grande larghezza e salire fino ad altezze considerevoli, se non facendo appello a enormi quantità di legno e a delle sezioni molto grandi di esso; ma in tal caso i problemi di montaggio, di sollevamento, di commettitura e di mano d'opera si sarebbero, in seguito, complicati notevolmente. Per i gotici, obbligati a non sprecare inutilmente legname e ad impiegare elementi di piccola sezione e di minime dimensioni, uno degli obiettivi essenziali era quindi di costruire utilizzando la minore quantità possibile di centine, le quali poi dovevano essere leggerissime e tali da permettere numerosi reimpieghi, giacché ogni smontaggio costava delle perdite di legno. Bisognava anche evitare che le centine si deteriorassero o deformassero e fossero rese inutilizzabili dalle intemperie: bisognava quindi proteggerle, quanto più fosse possibile, dalle diverse minacce della pioggia, della neve e del disseccamento operato dal sole, tutte caratteristiche del clima dei paesi dell'Europa Occidentale e Settentrionale.

Volte a botte e penetrazioni

Una volta a botte è una volta dalla forma semicilindrica (a sezione circolare oppure no), che poggia, da una parte e dall'altra, sopra dei muri-supporti. Può anche poggiare su dei pilastri uniti in alto da architravi di pietra o anche, per permettere più ampie finestre, da archi sovrastanti delle aperture nei muri-supporti. Questi muri vengono chiamati "gocciolatoi" quando ricevono la parte bassa della copertura, cioè, in altre parole, quando sono dei muri esterni dell'edificio (almeno nella loro parte superiore).

Questi muri-supporti ricevono, su tutta la loro lunghezza, la spinta continua della volta; devono pertanto venir sostenuti da puntelli su tutta la loro lunghezza o, in ogni caso, da contrafforti molto ravvicinati, al fine di evitare che la muratura possa deformarsi o sfasciarsi. Dei muri molto spessi possono essere sufficienti per reggere la spinta, se la volta non è troppo larga né troppo pesante. La realizzazione in questi muri di aperture per finestre presenta, tuttavia, dei problemi; è infatti impossibile creare aperture troppo ampie, giacché la parte superiore del muro, che non può essere puntellata, rischierebbe di sfasciarsi. Si può anche tentare, mediante degli archi orizzontali, di fare cadere le spinte su dei punti distanziati, come venne fatto, attraverso elementi di armatura, nell'e-

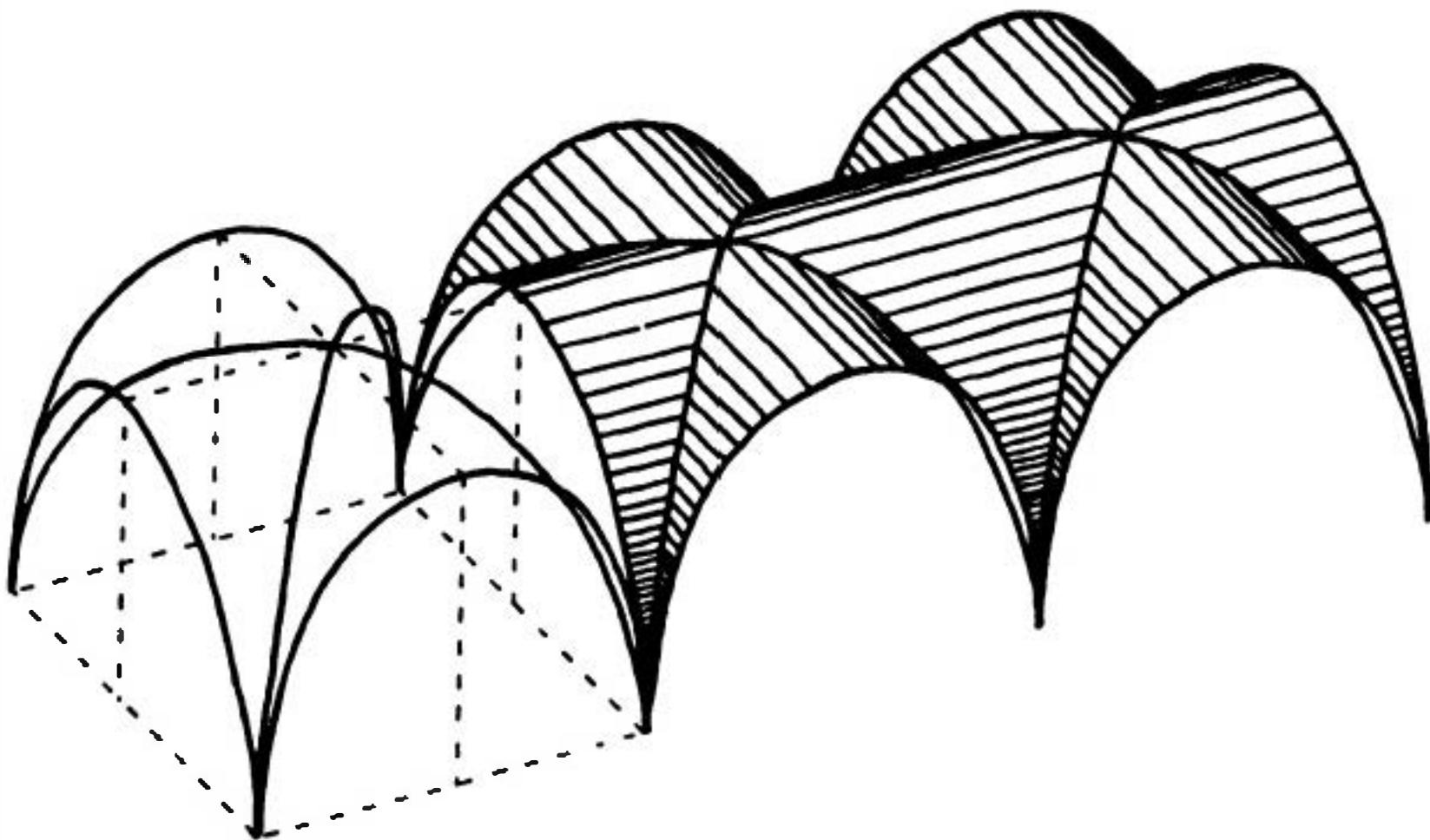
poca gotica, ma tale soluzione, troppo dispendiosa in muratura, non venne applicata dai costruttori dell'epoca. I tentativi più interessanti furono le volte a botte perpendicolari all'asse della navata (come a Tournus), poggianti su archi trasversali e illuminate alle estremità. Ma i gotici, che cercavano di illuminare abbondantemente mediante ampie penetrazioni nelle volte, aspiravano anche a conservare l'unità e la continuità dei volumi che costruivano, cosa che non era certo garantita da quella soluzione.

Notevole caso particolare di intersezione fra due cilindri è quello di due cilindri con asse di rivoluzione perpendicolare nel medesimo raggio, e con gli assi collocati sullo stesso piano; questa intersezione avviene secondo curve piane che sono dei cerchi. Negli altri casi (raggi differenti, assi spostati su piani diversi), le curve non sono più piane, ma a doppia curvatura: è il caso della penetrazione di volte a botte diseguali, che presenta difficili problemi di esecuzione sulla linea di intersezione.

L'intersezione su pianta quadrata di due volte a botte identiche, che si originano alla medesima altezza, dà luogo (a seconda che si sopprimano le parti esterne oppure le parti interne del volume comune ai due cilindri) sia ad una volta "a berretto di vescovo", formante un volume chiuso sui quattro lati, sia ad una volta a crociera, aperta, diversamente dall'altra, sui quattro lati.

Le spinte di questo ultimo tipo di volta si localizzano nei quattro angoli, alle estremità delle diagonali del quadrato di base determinato dall'incontro delle due volte di uguale ampiezza. Non si trovano molti esempi di volte "a berretto di vescovo", se non come copertura di botole o di pozzi; talvolta esse possono avere la funzione di mettere in risalto l'incrocio di una navata e di un transetto. Si vedono invece frequentemente delle volte a crociera nelle navate laterali e nelle cripte di chiese romaniche, dove la navata principale ha una volta a botte oppure un soffitto a capriate; se ne vedono anche nelle costruzioni rurali tradizionali di certe regioni, come il Delfinato o le Cevenne. Queste volte hanno il vantaggio di permettere il passaggio, sia alla circolazione, sia alla luce, su tutti i quattro lati che sono, se vengono chiusi, sei semplici riempitivi, non portanti, ma con dei volumi bene utilizzabili e senza altezza esagerata. Le volte a crociera, prima dell'epoca gotica, sono però costituite generalmente da piccoli elementi di pietra non sagomati o da pietrisco (cioè da calcestruzzo grossolano colato dentro "casserature" con la forma delle volte). In seguito, esse vengono spesso intonacate, perché la loro forma appaia più regolare.

Pol Abraham, parlando delle linee di intersezione delle volte a crociera romaniche, le descrive come "incerte e senza solidità"[8]. Il disegno rigorosamente geometrico di una volta a crociera, infatti, nonché la sua realizzazione con pietre ben tagliate, richiedono nozioni di geometria descrittiva e di stereotomia

[8] P. Abraham, *Viollet le Duc et le rationalisme médiéval*, Vincent Fréal, Paris 1934, p. 59.

VOLTE A CROCIERA FORMATE PER PENETRAZIONE
DI VOLTE CILINDRICHE REGOLARI

Se gli archi laterali e trasversali sono dei semicerchi, gli archi diagonali sono delle ellissi, la cui maggiore dimensione è orizzontale. Se gli archi diagonali sono dei semicerchi, gli archi laterali e trasversali sono – come la sezione delle volte a botte che essi generano – delle ellissi, la cui maggiore dimensione è verticale.

che non possedevano certo i costruttori dell'epoca. Lungo una linea di intersezione, inoltre, tutti i conci di pietra sono differenti, giacché la curvatura della linea – che è una ellisse – è variabile e quindi l'angolo fra le facce interne delle pietre varia ad ogni elemento: ci vogliono perciò tante piante o modelli quanti sono i conci di pietra su ogni mezza linea e un lavoro differente per realizzare ognuno di questi modelli: è un ostacolo che rende difficile qualunque standardizzazione.

D'altra parte, il numero dei diversi modelli raddoppia nel caso di intersezione fra volte a botte di larghezza differente, e ciò a condizione di allineare le basi e le chiavi delle volte: in caso contrario, si ottengono linee di intersezioni paraboliche, che causano ancora altri problemi. Infine, su un piano non rettangolare, come spesso è il caso nelle campate che circondano il coro d'una chiesa, nelle scalinate o nelle cappelle a raggiera, il tracciato geometrico delle penetrazioni (intersezioni di superfici non soltanto cilindriche, ma anche coniche o toriche) viene a risultare ancora più complicato.

La volta a crociera, tuttavia, presenta numerosissimi vantaggi; da una parte, essa concentra le forze in punti ben localizzati, dove è possibile più facilmente controllare le spinte ed opporvisi: "La volta a crociera, comunque fosse realiz-

zata tecnicamente... aveva il merito essenziale di canalizzare le forze interne fino ai quattro angoli, proprio come una mano guida i passi di un cieco, e di farle scendere e disperderle nei supporti"[9]. D'altra parte, questa volta è aperta sui quattro lati: "tutto il peso della volta ricade nei quattro angoli dove si localizzano le spinte. Si potranno quindi ridurre i supporti degli angoli della volta ad una sezione molto piccola, aprendo fra di essi delle immense luci; basterà che questi supporti siano convenientemente puntellati"[10].

In una tale volta, insomma, le campate possono sopportare delle aperture d'illuminazione su tutta la loro lunghezza e, d'altra parte, comunicare le une con le altre formando una navata continua abbondantemente illuminata dalle penetrazioni. Bisognava ancora, nei paesi del Nord, che si potesse opporre alle intemperie una protezione traslucida: lo sviluppo dell'industria vetraria e della tecnica di costruzione delle vetrate permise di far entrare largamente la luce ed il sole, mettendo così in valore e colorando lo scenario brillante delle volte, delle colonne, dei pilastri e delle sculture. Allora, secondo le parole di Suger, abate di Saint-Denis nel XII secolo, "l'opera magnifica, che inonda una luce nuova, comincia a risplendere".

Ma poiché si era trovato il mezzo di liberare in tal modo tutta la periferia di una superficie coperta da volte, concentrando il peso su dei supporti puntuali distanziati, diventava interessante provare a sviluppare il sistema della volta a crociera, applicandolo non soltanto a volte di pianta quadrata, ma anche a volte di qualunque tipo di pianta: rettangolare, trapezoidale, triangolare, pentagonale ecc. I gotici, che si rendevano conto dell'estremo interesse che si sarebbe avuto nel risolvere in maniera semplice e pratica i problemi complessi di supporti provvisori, di messa in opera e di stabilità posti da una tale generalizzazione delle penetrazioni, riuscirono a mettere a punto una tecnica alla portata dei loro mezzi: essa si appoggiava sulla combinazione di molti elementi principali – l'arco a sesto acuto, i costoloni, le superfici arcuate e sghembe, i contrafforti, pieni o alleggeriti – nonché su un'appropriata organizzazione della messa in opera.

[9] R. Oursel, *op. cit.*, p. 365.
[10] M. Aubert e J. Verrier, *op. cit.*, p. 6.

Le soluzioni gotiche

L'ARCO A SESTO ACUTO E LA STANDARDIZZAZIONE

Riprendiamo il paragone della scala doppia. Consideriamo due scale doppie, l'una con apertura a tutto sesto (semicerchio: altezza uguale a mezzo diametro) e quindi con ogni montante inclinato di 45 gradi, l'altra scala con un'altezza alla chiave, per fare un esempio, uguale alla sua luce (lo spazio fra i due piedi), cioè due volte più slanciata rispetto alla scala a tutto sesto. Immaginiamo di collocare dei pesi uguali sulla sommità delle due scale (si veda il disegno a p. 136).

Nel primo caso, il peso si scompone in due forze componenti a 45 gradi una dall'altra, che al livello dei supporti della scala possono di nuovo essere scomposte ognuna in due componenti: una, verticale, ricevuta dai supporti, è uguale (se si trascura il peso della scala) alla metà del peso iniziale: c/2; l'altra, che è orizzontale e costituisce la spinta, ha lo stesso valore: di nuovo c/2.

Nel secondo caso, poiché le due parti della scala sono meno inclinate, i pesi verticali sui supporti restano i medesimi – c/2 da ognuno dei due lati – ma le spinte, da una parte e dall'altra, sono ridotte della metà e non sono più, quindi, che c/4.

Si comprende insomma, da questo esempio semplificato, come, alzando un arco e dandogli un maggiore slanciamento, a parità di volume e di peso, si riduca la sua spinta: colui che avvicina i piedi della propria scala doppia per evitare che essa possa cadere tiene conto di questo effetto, magari senza saperlo; proprio come fanno i costruttori di volte, egli riduce la spinta ad un valore inferiore a quello che provocherebbe lo scivolamento dei piedi (corrispondente al crollo della volta). È anche necessario che i supporti possano resistere alla spinta, per quanto ridotta questa possa essere, e che altre pressioni laterali, come ad esempio il vento, non portino al rovesciamento della volta.

Fra le diverse forme di archi rialzati, quello a sesto acuto, composto semplicemente da due archi di cerchio, è il più facile da tracciare. L'arco a sesto acuto, infatti, offre – come vedremo più in seguito – una soluzione comoda e pratica al problema delle penetrazioni ed ha il vantaggio di generare una minore spinta rispetto a un arco a tutto sesto di medesima ampiezza. Questo vantaggio presenta poco interesse nel caso di archi successivi che si puntellano reciprocamente, annullando le spinte (poiché la spinta all'estremità di tutta l'arcata non supera quella di un singolo arco). Si constata, difatti, che prima che l'arco a sesto acuto si espandesse dovunque, se non per moda, almeno per un'esigenza di unità estetica, anche là dove non presentava vantaggi particolari, esso veniva già impiegato quando era veramente necessario; lo si utilizzava sia per ridurre le spinte, soprattutto in archi molto grandi (e ciò avveniva già prima dell'epoca gotica), sia nei casi in cui si trattava di allineare le chiavi di archi successivi con luci differenti (in particolare agli inizi del gotico, come a Noyon). Ma soltanto in piena epoca gotica l'utilizzazione di questo tipo di arco si generalizzò, a motivo soprattutto dei vantaggi che esso offriva per realizzare le "penetrazioni".

Camille Enlart[1] osserva (in apparenza senza cercarne i motivi, il che aggiunge ancora più peso a questa constatazione): "Gli archi a sesto acuto dominano, senza che quelli a tutto sesto cadano mai in disuso; questi ultimi sono tuttavia estremamente rari nelle grandi arcate, dove il sesto acuto era stato adottato quasi universalmente già prima dell'epoca gotica; ma resistono a lungo, al contrario, nei piccoli archi, nelle finestre, nelle trifore e in certi portali e chiostri...".

Choisy ritiene che l'arco a sesto acuto (che egli, come altri autori, chiama "ogiva") sia stato importato dai crociati, i quali l'avrebbero scoperto in Siria nel XII secolo. Egli segnala l'uso molto antico dell'arco a sesto acuto in Siria ed in Armenia e ricorda che gli Arabi ripresero questo motivo. "L'ogiva siriana è a due centri: due curve di compasso di uguale apertura bastano a descriverla. Dal punto di vista della statica, essa offre il vantaggio di produrre una spinta minore rispetto alla volta a semicerchio"[2]. Si può pensare effettivamente che l'arco a sesto acuto del Medio Oriente sia una versione semplificata della volta rialzata dei persiani, che era ovoidale, a forma di ellisse o di catenaria. È indiscutibile, comunque, che i costruttori romanici utilizzarono sovente l'arco a sesto acuto.

Non possiamo evitare, a questo punto, di citare un brano di un libro, eccellente sotto molti aspetti, che attribuisce all'arco a sesto acuto delle virtù veramente soprannaturali: questo testo non potrà non sorprendere i tecnici: esso rivela quella sorta di fascino che esercita su alcuni la costruzione romanica e mostra come possano nascere e radicarsi, nello spirito di persone spesso anche prepa-

[1] C. Enlart, *Manuel d'archéologie française*, A. Picard, Paris 1927, I, p. 563.
[2] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 20.

rate, delle concezioni completamente irrazionali sul ruolo degli elementi di struttura nell'architettura del Medioevo.

"Calcolatori esperti degli assestamenti e delle spinte della muratura, i maestri romanici non misero molto ad accorgersi che se, su un arco a tutto sesto, i pesi si esercitavano dall'alto verso il basso e aggravavano l'effetto delle forze centrifughe, la chiave di un arco a sesto acuto, invece, tendeva ad alzarsi in seguito all'azione delle spinte convergenti fra i due segmenti di cerchio messi di fronte. Qualunque muratura costruita su un arco a tutto sesto accresce la pressione e quindi il pericolo di un crollo. L'arco a sesto acuto, al contrario, oppone la propria controforza ascendente e canalizza le pressioni esattamente come le estremità appuntite del pilone di un ponte ripartiscono in due flussi la corrente che le urta"[3].

Non c'è bisogno di precisare ai nostri lettori, ai quali abbiamo tentato di spiegare in maniera molto semplice il funzionamento di una volta e le proprietà delle differenti forme di volta, che queste affermazioni sono in assoluto contrasto con tutte le leggi della statica. In effetti i romanici, come d'altronde anche gli Arabi, avevano osservato il vantaggio di una minore spinta che è propria degli archi sopraelevati, come l'arco a sesto acuto. Avevano anche constatato le deformazioni, come quella ad ansa di paniere più o meno irregolare, che assumevano alcune delle loro volte e che appaiono in un certo numero di chiese romaniche (in particolare a St. Philibert di Tournus). Esse derivavano essenzialmente da uno spostamento delle basi, in seguito a un movimento di diversi appoggi o a un assestamento delle murature o delle fondamenta; per premunirsene, i costruttori romanici davano spesso alle loro volte uno slanciamento supplementare, trasformando così l'arco a tutto sesto in un arco a sesto acuto. È esattamente il principio della "controfreccia", cioè di quella curvatura preventiva che i carpentieri e anche i costruttori moderni in cemento armato danno ancor oggi alle loro travi e alle loro piattaforme, per compensare la flessione o l'assestamento delle catene, delle casseforme o delle centine.

I costruttori romanici si resero conto che, accentuando la forma ogivale, potevano ridurre ancora le spinte: "Già nell'anno 1100, i costruttori romanici applicavano correntemente l'ogiva e la usavano con un notevole senso del vantaggio che si può ricavare da spinte minori"[4]. Secondo Choisy, l'utilizzazione dell'arco a sesto acuto si spiega, in certi casi, essenzialmente con l'"idea di livellare le chiavi, e niente di più". L'arco a sesto acuto, infatti, presenta a questo fine dei grandi vantaggi: esso, d'altronde, si alterna talora con degli archi a tutto sesto, come nella cattedrale di Noyon o nella chiesa Saint-Germain-des-Prés.

[3] R. Oursel, *op. cit.*, p. 420.
[4] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 265.

Camille Enlart, non senza ragioni – ma omettendo tutto ciò che l'arco a sesto acuto apportava di peculiare al sistema di costruzione gotico, e come se non fosse stato che un elemento di decorazione – non lo considera una specifica caratteristica dello stile gotico: "Nel passaggio dallo stile romanico allo stile gotico, non sembra di dover assegnare un ruolo particolare all'arco a sesto acuto, che non soltanto era entrato in pieno uso mezzo secolo circa prima dell'inizio del periodo detto gotico, ma rientra addirittura nelle caratteristiche di parecchie scuole romaniche (Borgogna, Provenza e chiese a cupola del Périgord): questo elemento deve dunque essere eliminato dalla definizione dello stile..."[5].

Secondo Choisy, l'arco a sesto acuto è "un elemento architettonico, dopo tutto, abbastanza secondario"[6]. Certamente, nessun elemento è da solo fondamentale; ma un tal modo di considerare uno stile – Enlart ne è un esempio – è caratteristico di molti eruditi, di storici dell'arte e anche di architetti – e non soltanto del XIX secolo. Se un elemento s'impone e si generalizza, è certo perché presenta certi vantaggi e certe possibilità che altri, in precedenza, hanno magari già visto e messo a profitto; ma l'elemento s'impone soprattutto perché si accorda e si integra particolarmente bene con tutto l'insieme di un sistema.

Infatti, la proprietà dell'arco a sesto acuto di permettere di costruire degli archi della stessa ampiezza, ma con altezze differenti, oppure degli archi della stessa altezza con delle aperture differenti, rimanendo allo stesso livello i centri degli archi in entrambi i casi, oppure di fare molti archi di uguale ampiezza con gli stessi raggi, esprime delle caratteristiche non essenziali, ma comunque tali da procurare, nella concezione degli edifici e nell'organizzazione del cantiere, una maggiore flessibilità, nonché delle interessanti possibilità che gli architetti gotici seppero combinare e mettere a profitto. E queste proprietà dell'arco si aggiungono poi a tutta una serie di vantaggi nel contesto dell'epoca e del sistema di costruzione che allora veniva adottato. Fra questi vantaggi, bisogna segnalare l'economia delle centine.

L'interesse presentato dalla sopraelevazione, resa possibile dall'arco a sesto acuto, per la costruzione delle volte, soprattutto nel ridurre l'importanza delle centine e delle strutture in legno, è confermato da diversi autori. Pol Abraham sostiene che "la facilità di chiusura delle volte gotiche deriva prima di tutto dall'impiego dell'arco a sesto acuto"[7].

E Choisy osserva che esso "pesa meno sulle centine e può essere eseguito con un minore dispendio di strutture provvisorie"[8].

[5] C. Enlart, *op. cit.*, I, p. 460.
[6] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 267.
[7] P. Abraham, *op. cit.*, p. 55.
[8] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 20.

L'obiettivo di economizzare le opere provvisorie, soprattutto le centine, appare in effetti una delle esigenze fondamentali dei costruttori gotici.

L'arco a sesto acuto era già impiegato correntemente dai romanici. Lo si trova ugualmente nell'architettura cistercense, in particolare nel caso di volte a botte semplicemente tagliate, ad ogni campata, da un arco trasversale in aggetto[9].

In questo caso, l'arco a sesto acuto non è che un accorgimento per alzare la volta a botte e forse anche per mascherare le eventuali inesattezze del tracciato, poiché il minimo difetto appare nettamente sul cerchio continuo dell'arco a tutto sesto. Si aveva forse anche la speranza di localizzare nel punto d'incontro dei due semicerchi, dove rimaneva poco visibile, la fessura provocata da un leggero spostamento degli appoggi. Un altro vantaggio dell'arco a sesto acuto è di permettere di tagliare tutti i cunei di pietra secondo lo stesso modello o almeno (quando si impiegano – cosa che è più economica – delle pietre di grandezze differenti) secondo la stessa curvatura. Ciò presenta un evidente interesse per le volte di pietra. Quanto alle volte in mattoni, esse possono essere realizzate giocando sullo spessore dei giunti fra un mattone e l'altro: è quello che avviene, in generale, per le volte di mattoni del Medioevo europeo, realizzate con elementi molto piatti, nel Sud-Ovest della Francia come nei Paesi Bassi o nelle regioni nordiche.

"Le volte normanne alzate verso il 1220 presentano spesso una disposizione tale che tutti gli archi, gli archi-ogive, gli archi trasversali, gli archi-forma e gli archivolti sono tracciati mediante un medesimo raggio"[10]. Viollet le Duc, che fa questa osservazione, scrive anche: "Il disegno di una sola pietra bastava allora per tagliare le varie parti di tutti gli archi, gli archivolti, le volte, le aperture, ecc. [...] È facendo ricostruire degli archi di volte gotiche che siamo stati condotti a riconoscere questa unità di curvatura fra molti di essi nel medesimo edificio, qualunque fosse il diametro di ciascuno di questi archi; le stesse sagome centinate, infatti, che venivano tagliate con una certa curvatura per un arco, servivano poi per molti altri; soltanto, il segmento di ogni sagoma era più o meno lungo". Choisy[11] ha messo ugualmente in evidenza questo sforzo di standardizzazione nei riempimenti (cioè nelle finestre) delle aperture traforate. "L'architettura normanna, con la sua tendenza agli schemi semplici, riduce di norma il disegno dei piantoni a un sistema di archi tutti descritti con il medesimo raggio. Un modello unico è sufficiente per il taglio di tutte le pietre di una finestra ad ogiva". Parlando poi del gotico inglese, che portò ad una particolarissima fioritura di nervature, egli osserva: "Per ragioni di semplificazione, i costruttori inglesi stabiliscono di tracciare tutte le nervature con l'aiuto di un'unica sa-

[9] Navata di l'Escale Dieu (1143-1160), Navata di Fontenay (1139-1147), di Thoronet (1160-1180), di Fontfroide (fine del XII sec.), dormitorio di Senanque (1160-1200).

[10] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, VI, p. 445-446.

[11] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 363.

goma"[12]. Ma ciò significa, inoltre, che si possono usare delle centine standardizzate, intercambiabili e recuperabili, il che costituisce ancora un altro fattore di economia e di migliore organizzazione del lavoro di cantiere.

La prefabbricazione e la standardizzazione potevano applicarsi, oltre che ai cunei degli archi sporgenti – delle "nervature" – che, essendo molto visibili e modanati, dovevano essere preparati da scalpellini qualificati, anche ai conci necessari per gli "scomparti", o "vele", delle volte (cioè gli spazi situati fra le nervature), dei quali era visibile una sola faccia, sensibilmente piana. Beninteso, anche le pietre che servivano per costruire i muri, i pilastri, le colonnette, le finestre e così via, potevano essere pretagliate: ciò non presentava alcun problema particolare. John James, ad esempio, ha osservato, a proposito del rosone della cattedrale di Chartres: "il riempimento della rosa sud è composto da settantadue pietre meticolosamente tagliate con l'aiuto di sei sagome solamente"[13].

Villard de Honnecourt, architetto dell'epoca gotica, ha lasciato uno schizzo[14] che rappresenta due tipi di archi a sesto acuto ed un arco a tutto sesto, con questa dicitura: "In questo modo, si possono fare tre tipi di archi mediante una sola apertura di compasso". Questa figura mostra un arco a sesto acuto del tipo equilatero (dove, cioè, i due centri si trovano ai piedi dei segmenti opposti), un arco a sesto acuto del tipo spesso chiamato "in terzo punto" (dove i due centri dividono la base in tre parti) e un arco a semicerchio (tutto sesto). Il disegno conferma bene l'aspirazione degli architetti gotici ad uniformare le curvature.

Il rosone di Villard de Honnecourt di cui abbiamo presentato il disegno (nel paragrafo "La conquista della luce") può essere costruito con 216 elementi, partendo da soli cinque modelli.

Altro vantaggio dell'arco a sesto acuto che s'aggiunge ai precedenti, questa possibilità di standardizzazione dei cunei di pietra – e quindi, contemporaneamente, anche delle centine – faciliterà non poco la prefabbricazione nelle cave, riducendo il numero degli elementi differenti. Questa prefabbricazione era inoltre un elemento di economia, non perché permettesse la meccanizzazione, che oggigiorno costituirebbe l'obiettivo essenziale, ma da una parte perché razionalizzava il lavoro, permettendo una specializzazione di compiti fra gli scalpellini, e d'altra parte, soprattutto (e ciò era all'epoca molto importante), perché essa riduceva il numero dei viaggi fra la cava e il cantiere, permettendo di trasportare le pietre già tutte tagliate, il che diminuiva il peso della metà. Quando si sa che un trasporto di meno di 20 km poteva far raddoppiare il prezzo della pietra[15], e che in alcuni luoghi un trasporto di meno di 60 km[16] po-

[12] *Ivi*, p. 279.
[13] J. James, *op. cit.*, I, p. 33.
[14] V. de Honnecourt, Album pubblicato da J.B.A. Lassus, Laget, Paris (1858) 1976.
[15] J. Gimpel, *La révolution...*, cit., p. 35.
[16] P. du Colombier, *op. cit.*, p. 20.

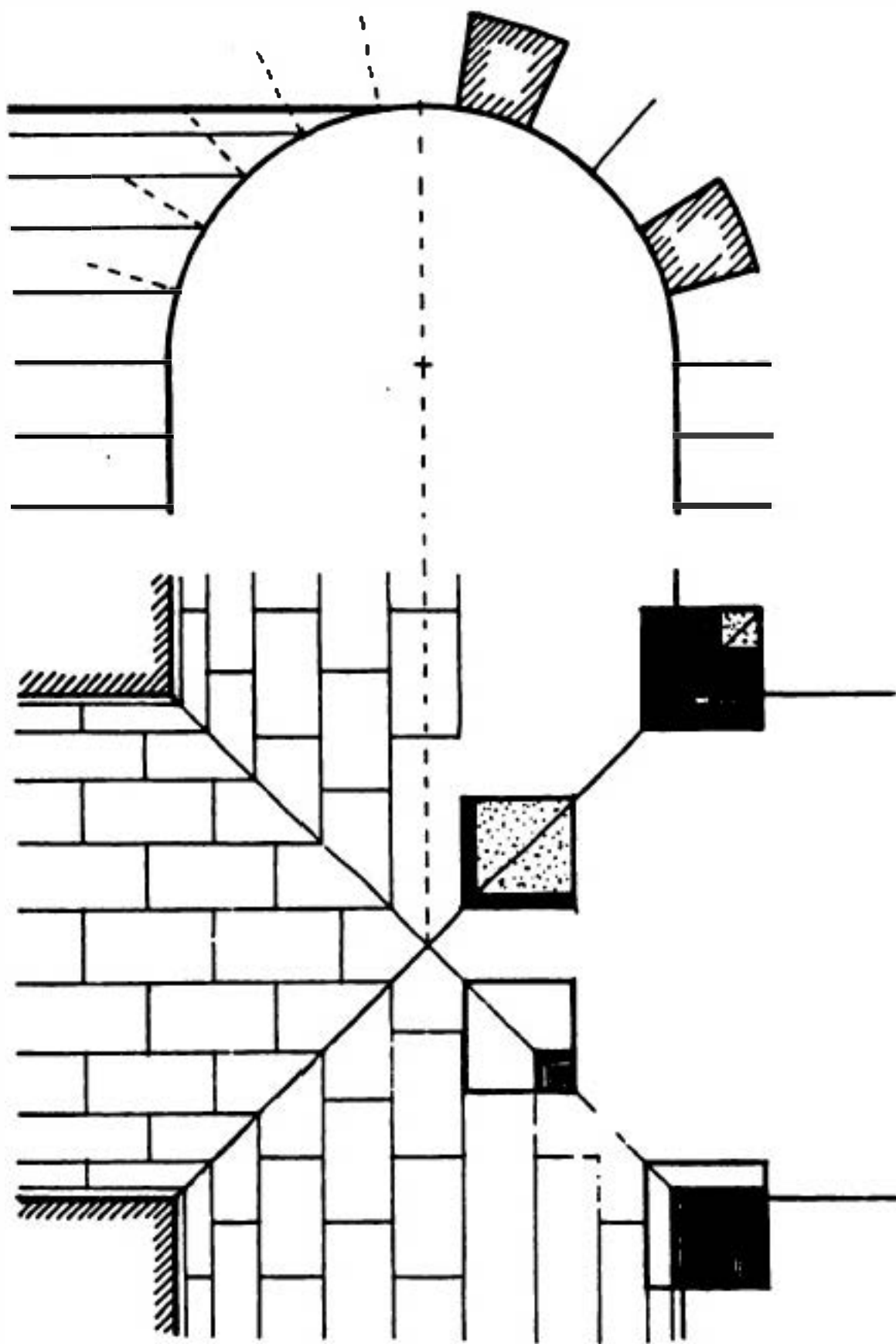
teva quintuplicare il prezzo, si comprende l'estrema importanza di questo risparmio.

In conclusione, l'arco a sesto acuto riuniva tutta una serie di proprietà, grazie alle quali presentava, nel contesto della costruzione gotica, numerosi vantaggi: riduzione della spinta, dovuta alla sopraelevazione di questo tipo di arco, con conseguente alleggerimento e risparmio di muratura; economia delle centine, resa possibile sia dalla sopraelevazione, sia dalla standardizzazione delle curvature; possibilità di standardizzazione delle pietre, che permette, a sua volta, una semplificazione della preparazione, dell'organizzazione e del lavoro di cantiere; economia dei trasporti e della mano d'opera, come conseguenza della prefabbricazione resa possibile dalla standardizzazione; maggiore facilità di livellare le chiavi e le basi degli archi e delle volte, da cui deriva una grande flessibilità nell'applicazione di piante diverse, in particolare per la penetrazione di volte a botte di ampiezza differente e per le successioni di archi di ampiezza differente; maggiore facilità di tracciare sia il disegno delle volte, sia quello delle singole pietre; forma sufficientemente prossima a quella dell'ellisse, per facilitare le penetrazioni e la volta a crociera, come vedremo in seguito.

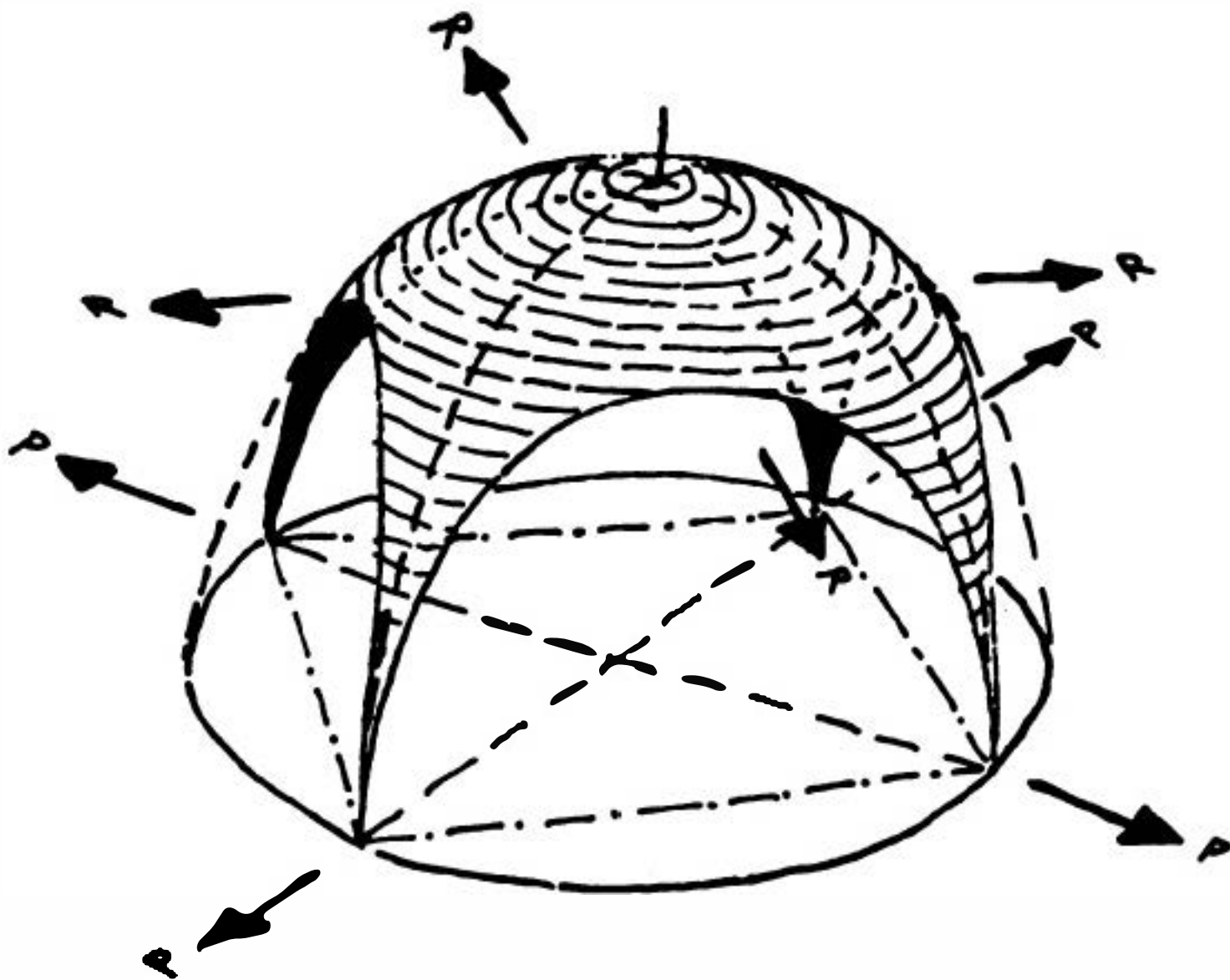
La volta a crociera gotica

Vi è un punto essenziale in cui l'arco a sesto acuto, in combinazione con gli altri elementi dell'architettura gotica, apportava una soluzione pratica al problema della costruzione delle volte.

Abbiamo spiegato che le volte a crociera, costituite dall'incontro di due volte a botte uguali, tangenti al loro vertice, permettono di aprire i quattro lati di un volume coperto da volta, raccogliendo le spinte su dei supporti puntuali – pilastri, colonne, *trumeaux*. Le curve di incontro delle volte a botte, che determinano le linee di intersezione, sono, nel caso di volte a botte identiche di sezione circolare e tangenti al loro vertice, delle ellissi. Esse sono delle curve difficili da tracciare. Lungo tutte queste linee, inoltre, i cunei di pietra sono uno diverso dall'altro, di disegno complesso e di forma sapiente. L'ignoranza della geometria descrittiva e della stereotomia non dava la possibilità, in quell'epoca, di fare i disegni o di tracciare le differenti facce di quegli elementi di pietra con misura esatta, così da permettere di eseguirli ad uno scalpellino esperto.

Vi era un'altra soluzione per coprire l'intersezione di due volte a botte uguali (o, almeno, che arrivavano a delle altezze sotto la chiave sostanzialmente uguali), senza dover ricorrere ad altre curve che non fossero cerchi. Se si tracciano dei semicerchi sulle diagonali e degli altri semicerchi sui lati del quadrato determinato, sul piano, dall'incrocio di due volumi cilindrici, questi quattro semicerchi vengono a trovarsi su una stessa sfera. Una volta a cupola, aperta su

DISEGNO DI UNA VOLTA A CROCIERA REGOLARE

Su questo disegno, che rappresenta l'incrocio di due volte costruite con pietre tagliate, a tutto sesto, sono stati raffigurati due conci di pietra visti da sopra (in alto) e altri due, simmetrici, visti da sotto (in basso). I conci sono differenti ad ogni strato, per tutta la lunghezza delle linee di intersezione. Non vi sono quindi, in una tale volta, che quattro conci simili; ognuno di essi richiederà allora uno speciale e dettagliato disegno, tale da esigere approfondite conoscenze di geometria descrittiva e di stereotomia. Ogni concio dovrà essere tagliato, secondo la richiesta, con estrema precisione. In una normale volta a crociera, che implica una quantità infinitamente maggiore di elementi rispetto al modello elementare che diamo qui sopra, la concezione, il taglio e la messa in opera sono, quindi, operazioni quanto mai complesse.

quattro lati, rappresenta dunque una soluzione geometricamente impeccabile: essa è stata spesso adottata, soprattutto per l'incrocio della navata e del transetto, al quale bisognava attribuire una maggiore importanza che alle normali campate. Questa soluzione implica una soprelevazione della calotta centrale in rapporto alle chiavi degli archi trasversali e laterali che delimitano i lati del quadrato di base (archi doppi, *doubleaux*, trasversali rispetto alla navata, archi-forma, *formerets*, paralleli ad essa). Si viene a rompere, in tal modo, l'unità e la continuità della navata, sopraelevando l'armatura e creando delle zone meno illuminate al centro del quadrato. Ma questa soluzione presenta anche diversi altri inconvenienti: così, ad esempio, la calotta superiore, frazione di cupola i cui "pennacchi" discendono fra gli archi trasversali (*doubleaux*) e quelli paralleli (*formerets*), determina, se non viene cinturata alla base, delle spinte sulla sommità di questi archi, perpendicolarmente al loro piano. Ciò non ha importanza nel caso di una campata normale, disposta nel senso della lunghezza della

VOLTE CUPOLOIDI O "DOMICALI"

Gli archi diagonali circolari dell'incrocio di due volte a botte, ortogonali e a tutto sesto, definiscono una sfera tagliata secondo cerchi dalle volte a botte: le spinte della sfera (P) vengono ricevute ai 4 angoli della campata. Se la calotta sferica di questa cupola ricopre una campata che è sopra le navate laterali, una spinta nel vuoto (R) si esercita sulla cima degli archi-forma. Anche preparando una tale volta con archetti paralleli agli archi-forma e agli archi trasversali, come in certe volte "domicali", con costoloni a crociera ogivale, non si può sopprimere questa spinta, a causa della convessità della calotta.

navata, poiché le campate successive assicurano il necessario puntello; ma, in altri casi, presenta dei problemi delicati; non è possibile, infatti, puntellare su tutta la loro larghezza gli archi aperti dei muri di facciata laterali. E le stesse ragioni che facevano scartare la soluzione dei tiranti metallici nel caso delle volte, portavano a scartare la possibilità di ricorrere a delle cinture di ferro nel caso delle cupole: rischi di corrosione senza alcuna possibilità di controllo, irregolarità di composizione del metallo impiegato (le cui qualità di trazione non erano neppure misurabili con quelle delle leghe attuali), infine, e soprattutto, costo e rarità del ferro.

Inoltre, come già abbiamo detto, il taglio dei conci di pietra di una cupola è più difficile di quello dei conci di una volta cilindrica, dove tutte le facce sono sviluppabili; i conci di pietra sono anzi differenti ad ogni strato, nelle soluzioni classiche in cui le cupole sono costituite da strati circolari sovrapposti. I costruttori gotici dovevano quindi trovare un'altra soluzione, che fosse compatibile con i loro mezzi e con le conoscenze di cui disponevano, e meglio adatta ai loro problemi. Certi archeologi, seguendo Viollet le Duc, hanno creduto di scoprire una progressione continua dalla cupola alla crociera ogivale: in effetti, in alcune regioni francesi, come nel Sud-Ovest, si trova che esistono, con una datazione soggetta a cautela nella maggior parte dei casi, molte forme intermedie fra la cupola e la crociera ogivale: ma esse testimoniano soprattutto la varietà dei tentativi e l'originalità dei diversi costruttori in una regione dove la cupola era tradizionale. La chiesa di Saint-Front a Périgueux e le altre che sono derivate da questa concezione hanno le volte costruite in forma di cupole sopra dei pennacchi. La chiesa di Saint-Avit-Senieur presenta la particolarità di avere le

VOLTA "DOMICALE" A COSTOLONI

In questi esempi caratteristici della scuola angioina, i costoloni hanno potuto facilitare la costruzione e costituiscono un ornamento, ma la volta è convessa come una cupola, anche se non è preparata come una vera e propria cupola (disegno di Choisy).

arcate coperte da cupole, ma sostenute da costoloni incrociati. Tutto l'apparato, che si svolge per giunti orizzontali nonostante i costoloni, è quello di una cupola, e lo spessore considerevole degli archi trasversali dimostra che il problema di reggere i pesi che vanno a cadere su di essi non sfuggiva certo ai costruttori. Lo stesso procedimento si trova nella chiesa di Saint-Serge di Angers, dove le volte "domicali" (cioè, sostanzialmente, a forma di cupole, *dômes*), inquadrate dagli archi trasversali e dagli archi-forma, sono suddivise ad ogni campata in 8 scomparti con volta a crociera: a causa della convessità, gli strati successivi svolgono in pratica la funzione di semiarchi giustapposti, poggianti alle loro estremità sull'arco trasversale o sull'arco-forma. Per sostenere un tale peso, questi archi sono composti da lunghi cunei che, più profondi delle nervature, appaiono da una parte e dall'altra di queste ultime, le quali sono invece delle linee sottilissime con forma rigonfia a "tondino", destinate a fregiare le crociere e le linee delle penetrazioni. Sempre ad Angers, le volte della cattedrale Saint-Maurice, divise in quattro scomparti da nervature più forti e da archi trasversali e da archi-forma molto rilevati, sono costruite come volte a crociera; ma le chiavi delle crociere delle nervature diagonali sono, anche qui, molto più elevate di quelle degli archi trasversali e degli archi-forma: ciò giustifica la forza degli archi trasversali e la grossezza degli archi-forma, i quali devono sopportare e trasmettere delle tensioni notevoli, a causa della curvatura delle volte. Nella cattedrale di Mans, dove le volte della navata sono nettamente convesse, gli archi trasversali, anche qui molto forti, sono visibilmente deformati per gli sforzi che devono sopportare. I costruttori gotici, desiderosi di evitare questi effetti negativi e di alleggerire le loro strutture, nonché di preservare l'unità e la continuità delle navate e di aprirle lateralmente, si sforzarono, mediante delle curvature semplici, di conservare il centro della crociera sostanzialmente al livello delle chiavi degli archi laterali e trasversali: la volta a crociera, formata dall'intersezione di due volte a botte, veniva quindi a costituire la migliore soluzione. Ma bisognava trovare il sistema per eliminare le ellissi, sia quelle formate lungo le linee di intersezione generate dall'incontro di due volte a botte a tutto sesto, sia quelle che costituiscono la sezione normale delle volte a botte, nei casi in cui si stabiliva di tracciare le linee d'intersezione in forma di semicerchi regolari. È quest'ultima formula quella che i gotici decisero di far propria, con la "crociera ogivale".

In altre epoche e in altre condizioni, questa scelta avrebbe potuto condurre a soluzioni architettoniche diverse: c'è in Francia un bellissimo esempio – assai poco conosciuto – di volte che fanno apparire le curve ellittiche generate su volte a botte, le quali si tagliano secondo linee dal tracciato vistosamente circolare: si trova nelle fortificazioni che gli ingegneri militari dell'inizio del XIX secolo costruirono a Grenoble e che attualmente vengono utilizzate, con il nome *la casemate*, per ospitare degli uffici municipali. Poiché gli ingegneri si

INTERSEZIONI CIRCOLARI DI VOLTE A BOTTE ELLITTICHE
In questo esempio di architettura militare si può vedere, nella misura in cui un disegno può supplire a una foto, l'effetto prodotto dalle intersezioni rigorose di volte a botte ellittiche mediante linee semicircolari (Grenoble, La Casemate).

imposero di tenere tutte le chiavi alla medesima altezza, si vedono apparire, secondo le ampiezze delle volte a botte intersecantisi e la pianta dei locali coperti, differenti proporzioni di ellissi. Liberi dagli "a priori" estetici allo stesso modo dei maestri gotici, gli ingegneri militari hanno così realizzato una dimostrazione in piccola scala che, nella grande freschezza della sua geometria, non manca affatto di bellezza.

All'inizio del XIX secolo, poiché si conosceva e si metteva in pratica la stereotomia, si sapeva come tagliare i cunei delle linee di intersezione: in questo caso, essi sono tagliati senza troppe rifiniture. Quanto alle vele (cioè a quelle parti della volta situate fra queste linee), esse sono fatte con mattoni grossolani, così che ancora meglio si rivela l'eleganza delle linee semicircolari.

Ma i gotici, invece, sostituiscono la forma ad ellisse, che normalmente sarebbe stata quella di volte a botte intersecantisi, con una curva di tracciato più facile e di curvatura costante che, inoltre, offre numerosi vantaggi pratici: l'arco a sesto acuto.

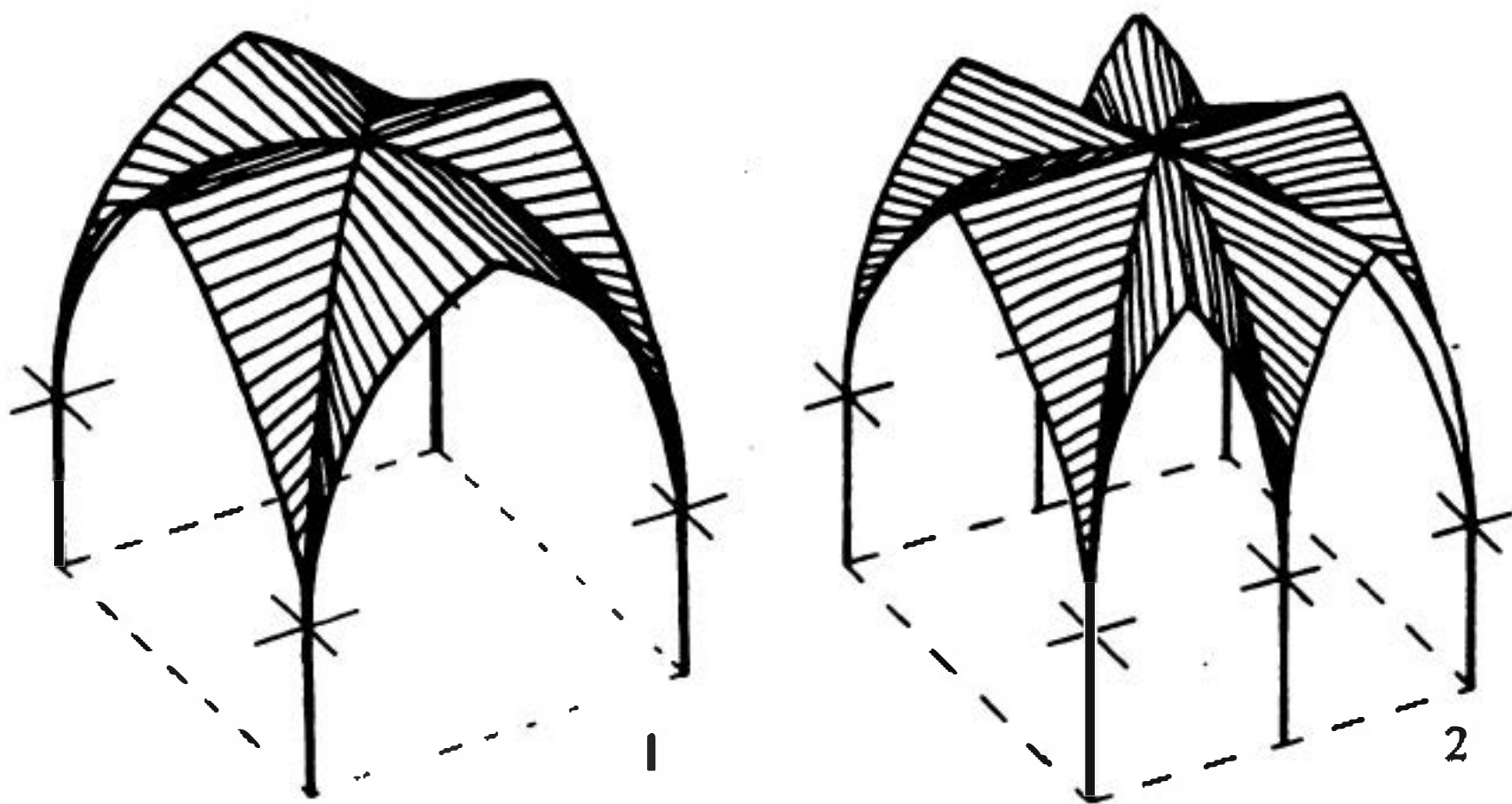
Così facendo, tuttavia, essi vengono a creare altri problemi che non potranno essere ignorati, ma dovranno essere affrontati e risolti: "Il muratore romanico,

che da sempre praticava l'arte delle penetrazioni nei suoi deambulatori e nelle sue volte a crociera, non sapeva tuttavia tracciare geometricamente le intersezioni delle superfici. Non conosceva le proiezioni cilindriche e coniche, che permettono di determinare in modo matematico queste intersezioni, né praticava la geometria descrittiva a tre dimensioni: il suo successore, il gotico, non la praticherà, d'altra parte, nemmeno lui [...]. L'architetto gotico realizzerà tuttavia un progresso considerevole: traccerà a priori e su un piano le linee di penetrazione. Queste linee potranno così essere materializzate sotto la forma di archi di pietra facilmente preparabili, giacché tali archi piani non richiedono che un disegno piano: il loro raccordo verrà fatto con estrema facilità mediante superfici sghembe. Il problema è preso, per così dire, a rovescio: invece di partire da superfici geometricamente determinate e regolate per derivarne le intersezioni, che verrebbero ad essere delle curve sghembe, si parte da queste intersezioni semplificate, tracciate su un piano con il compasso, e si piegano, si modellano le superfici di intradosso, secondo la richiesta di queste linee di penetrazione arbitrarie"[17].

Riassumendo, la semplificazione essenziale del tracciato delle volte a crociera quale venne ideata dagli architetti gotici – che esse posino su un piano rettangolare o poligonale – inizia dalle medesime linee di intersezione. Nel caso di una volta a pianta rettangolare o quadrata, gli architetti gotici stabilirono di tracciare queste linee secondo dei cerchi: ciò doveva implicare teoricamente, come conseguenza per le due volte a botte secanti, delle sezioni ellittiche con l'asse maggiore verticale. I gotici, tuttavia, evitarono questa forma perché, su tutta la superficie della volta, da una parte e dall'altra dell'asse, i conci di pietra sarebbero dovuti essere differenti ad ogni strato: si trattava, inoltre, di una figura dalla curvatura variabile, difficile da tracciare.

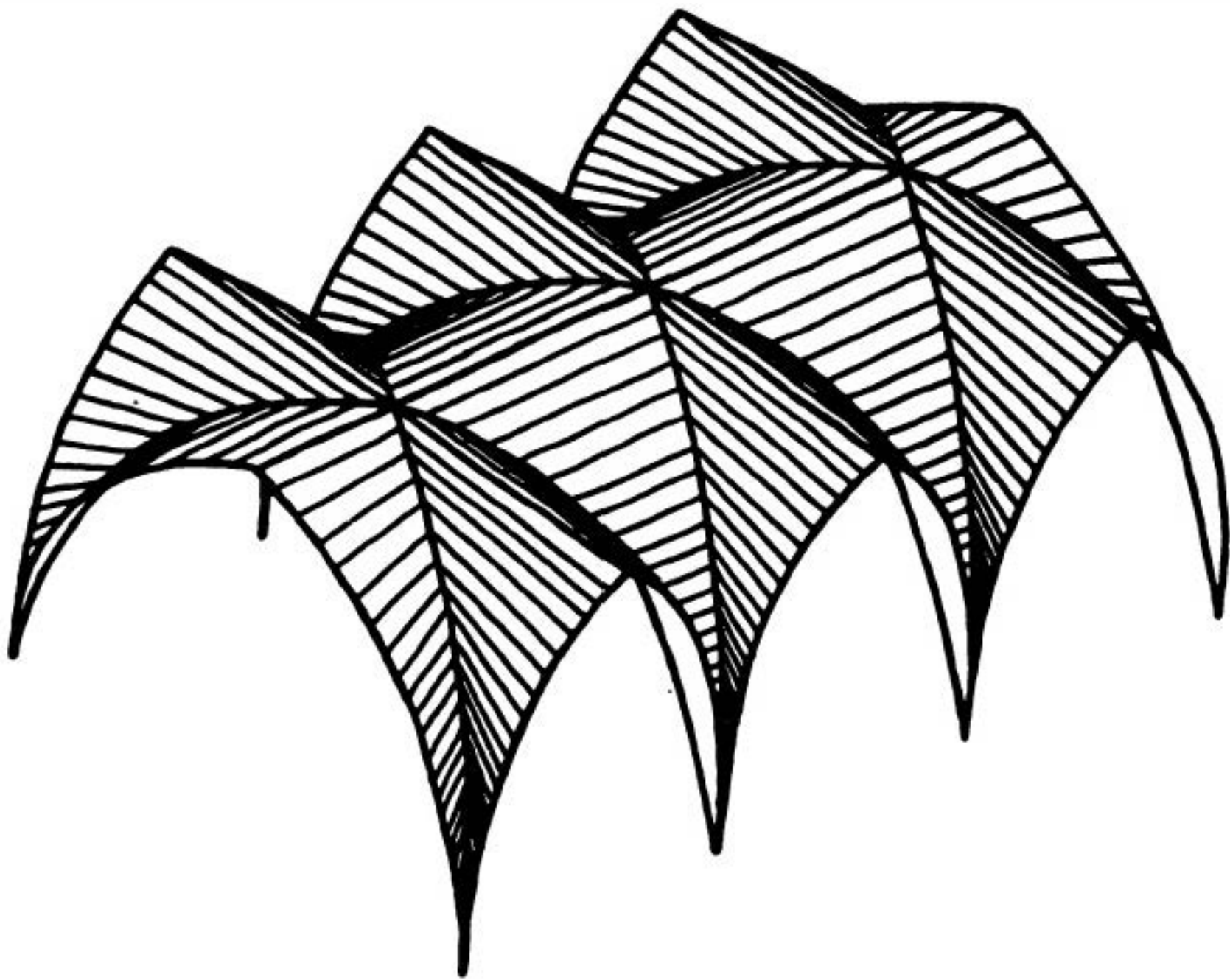
Cercando una curva simile, essi scelsero, come sostituto dell'ellisse, l'arco a sesto acuto, del quale abbiamo già visto i vantaggi: il disegno mostra che la differenza era relativamente minima.

Ma la differenza fra lo sviluppo dell'esatta sezione ellittica, che corrisponderebbe a linee di intersezione a tutto sesto, e quello dell'arco a sesto acuto scelto porta ad un'inclinazione progressiva degli strati di conci della volta (se si utilizzano delle pietre di altezza costante per ogni strato) o all'utilizzazione di pietre trapezoidali formanti degli strati "a fischietto": si vedono queste anomalie in quasi tutti gli edifici gotici, tanto più che oggi, per la maggior parte, essi sono privati dei rivestimenti e delle pitture che in origine vi erano stati applicati. Anche quando le pietre erano visibili, tuttavia, la cosa non doveva preoccupare oltre misura i costruttori. Questa difficoltà di raccordare gli strati fra gli archi che inquadrano la campata e gli archi diagonali d'intersezione (sia che si tratti

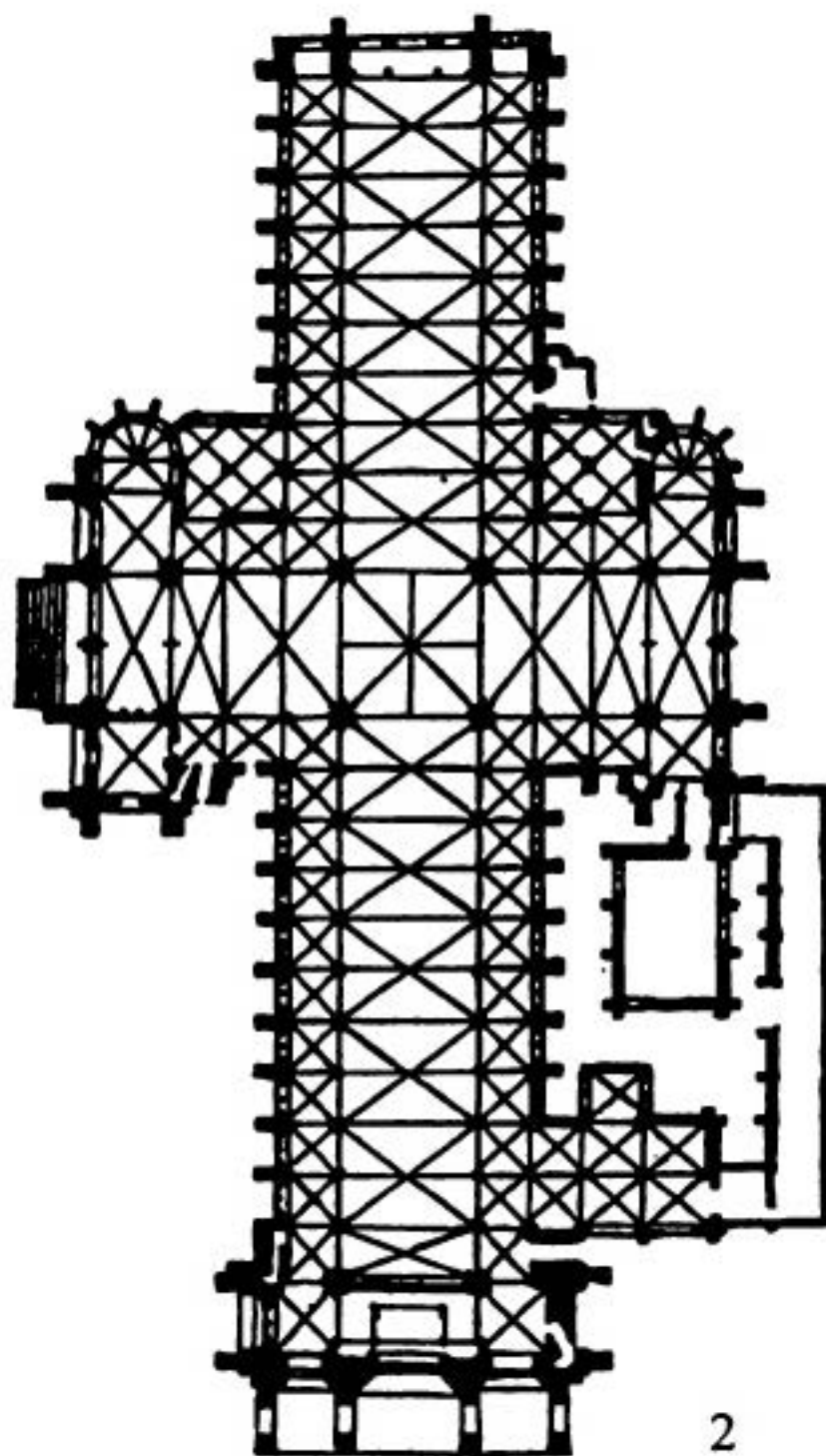
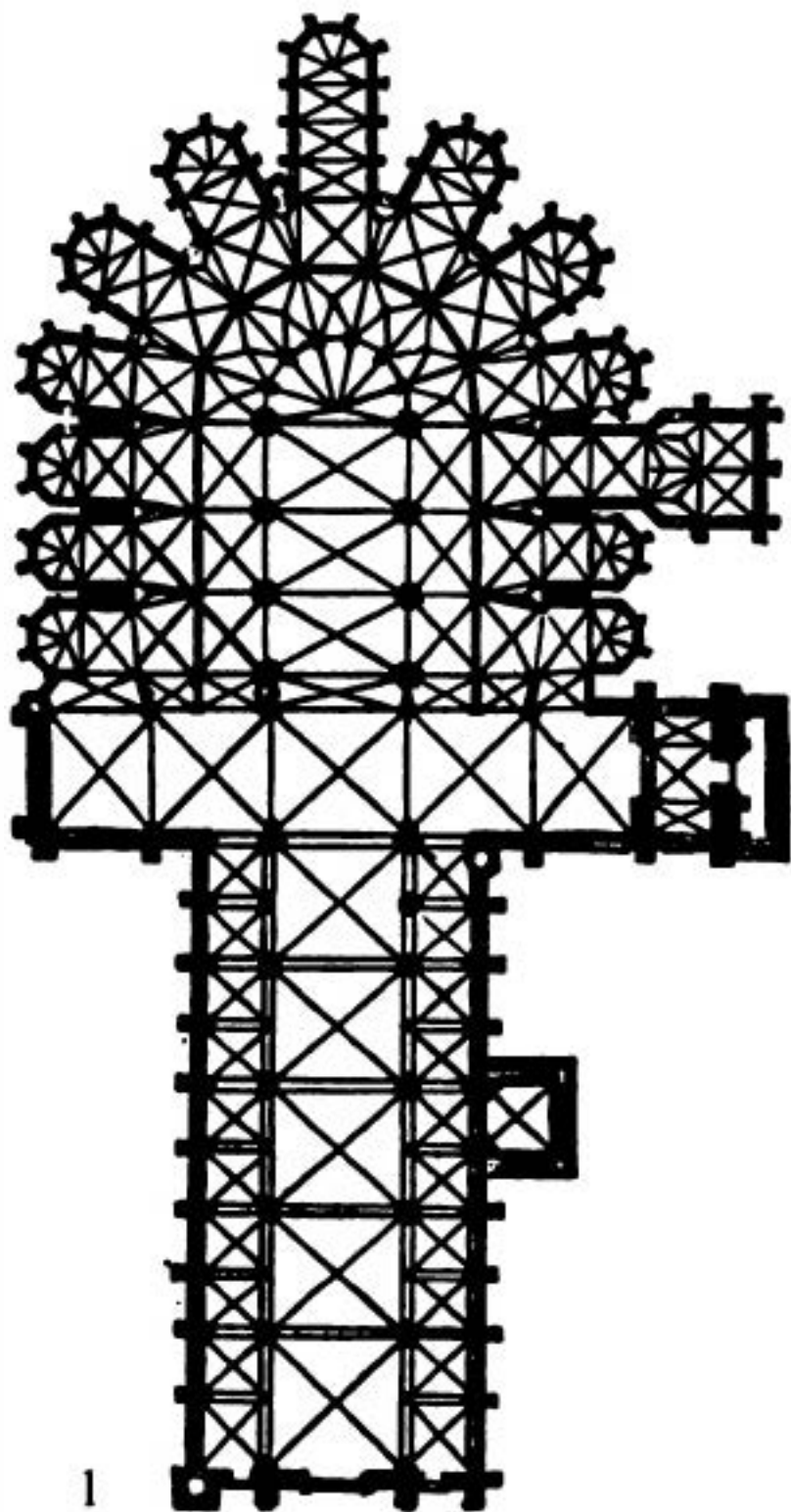
[17] P. Abraham, *op. cit.*, p. 59.

CROCIERA OGIVALE A PIANTA QUADRATA E CROCIERA ESAPARTITA

*1) Crociera ogivale a pianta quadrata. Gli archi diagonali sono dei semicerchi, gli archi laterali e trasversali (*formerets *e* doubleaux*) sono archi a sesto acuto identici. La deformazione delle vele e l'inclinazione progressiva degli strati sono determinate dalla sostituzione degli archi a sesto acuto alle ellissi, corrispondenti a cilindri con assi perpendicolari che si intersecano secondo cerchi.*

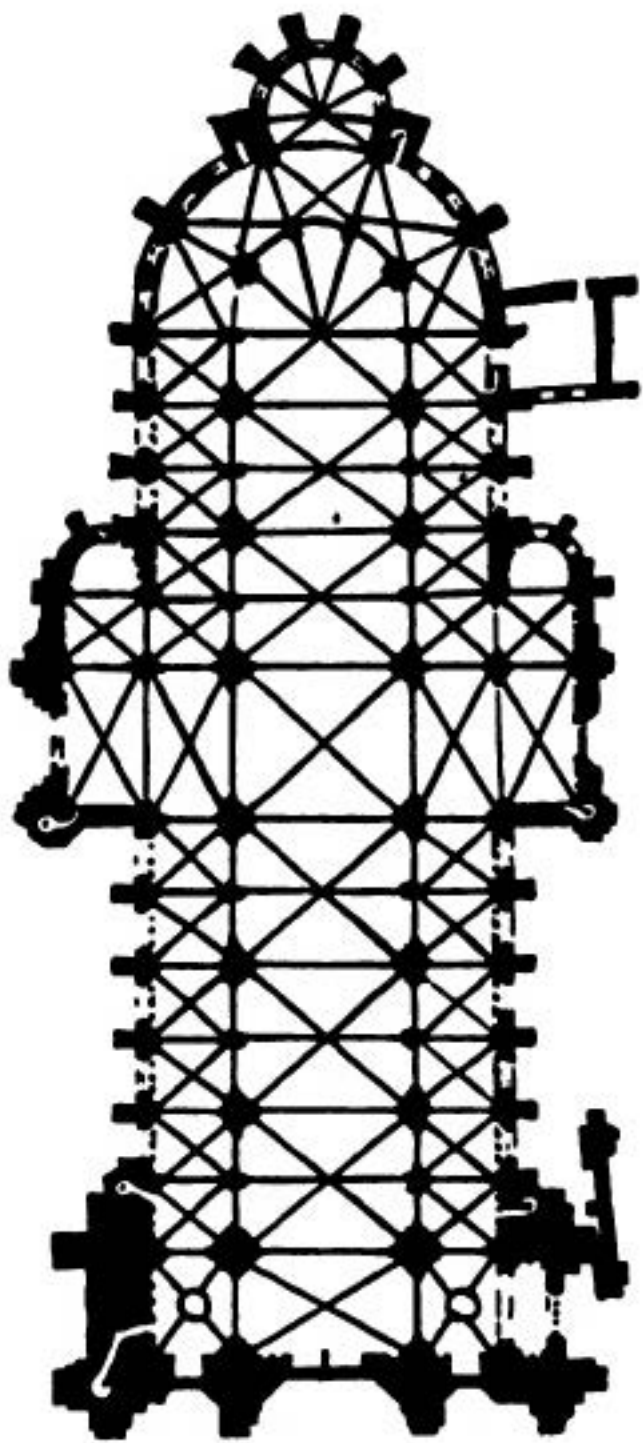
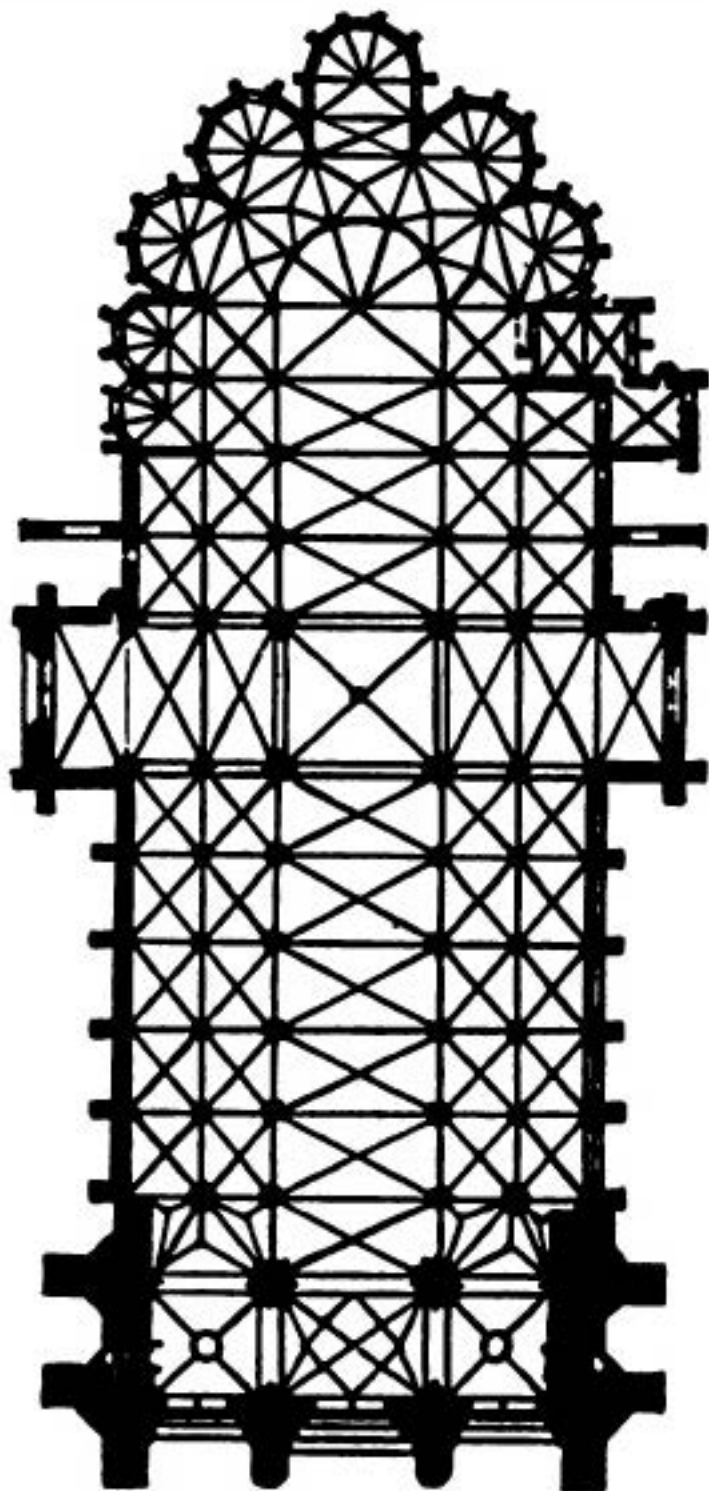
2) Crociera a pianta rettangolare, esapartita. Nato allo scopo di raccordare una pianta quadrata a campate sdoppiate, corrispondenti a quelle delle navate laterali, questo sistema implica la creazione di superfici sghembe difficili da collegare.

di piante quadrate, rettangolari o comunque poligonali) si manifesta in quasi tutte le volte gotiche, anche se l'inclinazione degli strati presso la base delle volte può essere sovente in parte dissimulata dallo spessore delle nervature: la moltiplicazione di esse, caratteristica dell'evoluzione del gotico, non è forse, d'altra parte, senza legame con questo problema, del quale i costruttori del primo periodo gotico non sembrano, comunque, essersi molto preoccupati. In talune volte, come ad esempio a Saint-Denis, si trovano, alla base di certe vele, dei conci di pietra i cui strati presentano addirittura una inclinazione di 45° sulla verticale. A Notre-Dame di Parigi, si vedono degli strati di pietra "a fischietto" che sono sdoppiati nel senso della lunghezza per guadagnare in profondità da un capo all'altro. Sembra che gli operai incaricati di realizzare le vele si arrangiassero come potevano: il gioco imperativo dei costoloni faceva sì che non si prestasse molta attenzione alla composizione degli scomparti di riempimento fra un costolone e l'altro. Talvolta, come a Embrun, gli strati di pietre sono alternativamente chiari e scuri, e ciò ne rivela ancor più l'inclinazione; in alcune campate di questa cattedrale, i muratori hanno preso una decisione molto drastica, arrestando senz'altro gli strati paralleli di una parte della

CROCIERA OGIVALE A PIANTA RETTANGOLARE (*BARLONGUE*)
Gli archi diagonali sono dei semicerchi, mentre quelli trasversali sono leggermente a sesto acuto o talora a semicerchio sopraelevato.

volta, ad un certo livello, contro degli strati tracciati secondo un'altra direzione, che formano, rispetto a quelli precedenti, un'angolazione molto marcata. La soppressione dell'arco trasversale, frequente soprattutto nelle soluzioni di crociere ogivali a pianta rettangolare, permette spesso di evitare il problema limitatamente al senso longitudinale della navata, facendo sì che la volta sia effettivamente più o meno ellittica senza che ciò appaia: il problema, in tal caso, si pone soltanto per l'estremità della navata, là dove essa finisce su un muro di facciata. Per quanto riguarda, tuttavia, gli archi-forma o le aperture laterali di illuminazione, è inevitabile la deformazione – donde la progressiva inclinazione dei giunti.

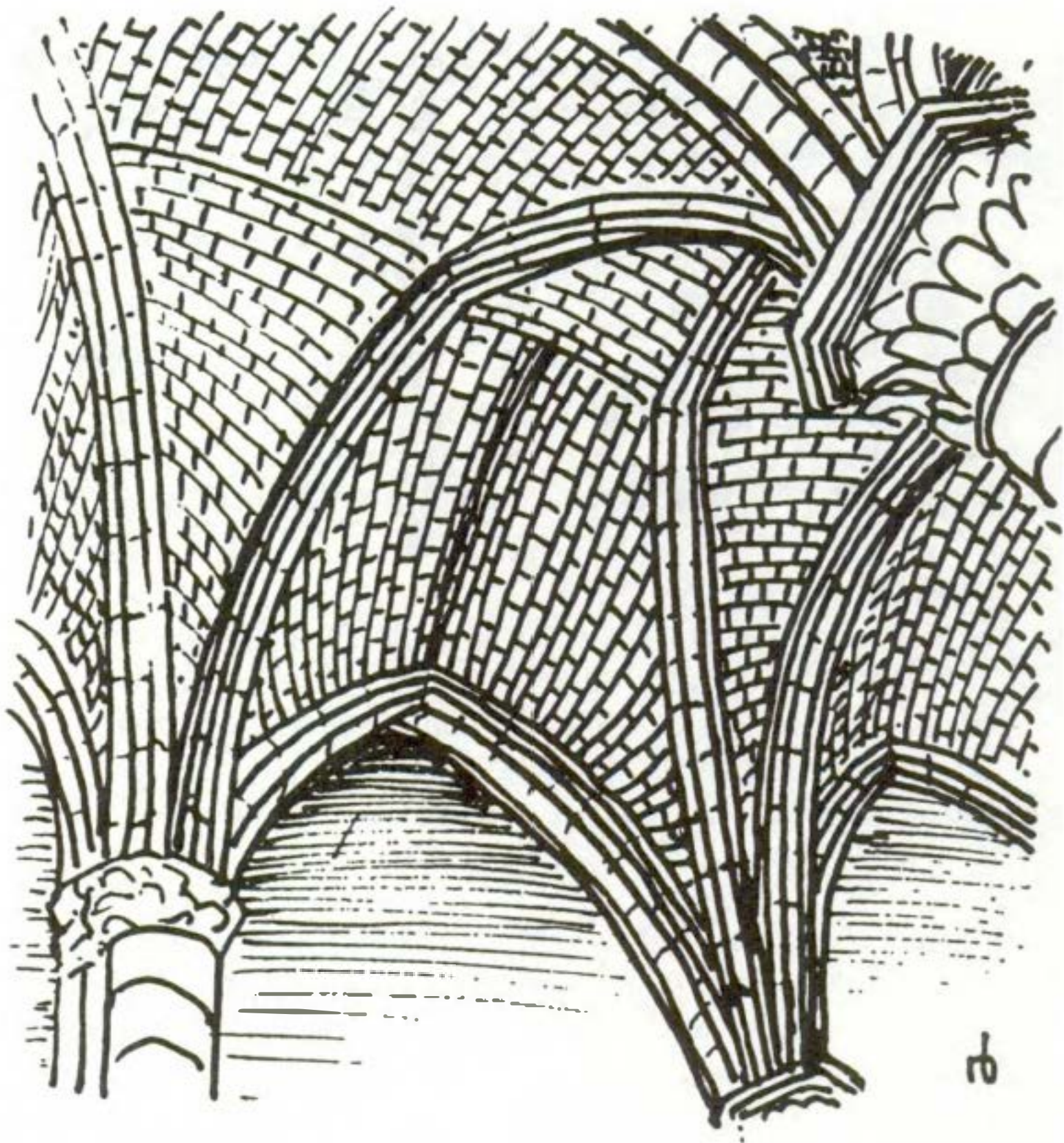
In ogni caso, è estremamente raro che nelle volte gotiche, da una parte e dall'altra delle nervature della crociera ogivale e degli archi trasversali, la direzione dei giunti si prolunghi dal vertice fino alla base parallelamente all'asse della volta, come dovrebbe accadere in una vera volta a crociera regolare: i giunti divergono nettamente da una parte e dall'altra. Questo progressivo spostamento dei giunti è ovviamente tanto più accentuato quanto più basse sono le

CROCIERE OGIVALI – NAVATE PRINCIPALI E LATERALI
SOLUZIONI DIVERSE DI VOLTAMENTO

1) Le Mans: campate centrali quadrate, nella navata principale, corrispondenti a due campate in quelle laterali. Pilastri alternati. Nel coro, campate rettangolari.
2) Laon: campate esapartite con pilastri uguali.

chiavi degli archi laterali o trasversali in rapporto a quelle della crociera centrale. La soluzione teorica perché la sezione verticale, ad arco a sesto acuto, della volta abbia lo stesso sviluppo della proiezione sul piano verticale delle linee di intersezione ricoperte dalle nervature diagonali, a tutto sesto, porterebbe a sopraelevare le chiavi degli archi laterali, che verrebbero così a trovarsi più in alto rispetto alle chiavi della navata principale. Ciò non sarebbe però compatibile né con l'estetica né con la stabilità, le quali, invece, ammettono più facilmente il contrario, cioè la realizzazione di una forma più tondeggiante, che aumenti ancora la differenza di sviluppo e l'inclinazione dei giunti, e tale che le generatrici superiori delle penetrazioni si elevino verso la chiave dell'ogiva.

CROCIERE OGIVALI – NAVATE PRINCIPALI E LATERALI
SOLUZIONI DIVERSE DI VOLTAMENTO

3) Sens: campate esapartite a pilastri alternati, corrispondenti a due campate nelle navate laterali. Identica disposizione del coro.
4) Troyes: campate rettangolari. Campate duplici, da una parte e dall'altra, nelle navate laterali (disegni dell'autore, da Viollet le Duc).

La soluzione rettangolare (*barlongue*) chiamata anche quadripartita, nella quale le campate della navata principale sono a pianta rettangolare per corrispondere alle campate delle navate laterali che sono a pianta quadrata, pur garantendo un'ampiezza molto maggiore, riduce considerevolmente la difficoltà di raccordare gli strati fra l'arco trasversale e i costoloni (archi diagonali) della crociera ogivale. Tale soluzione non aumenta molto la differenza fra l'arco-forma e la sezione retta sul piano verticale del cilindro generato dalla crociera, ma conduce a delle proporzioni ottimali differenti per l'arco a sesto acuto, come vedremo meglio nel capitolo dedicato a tale questione.

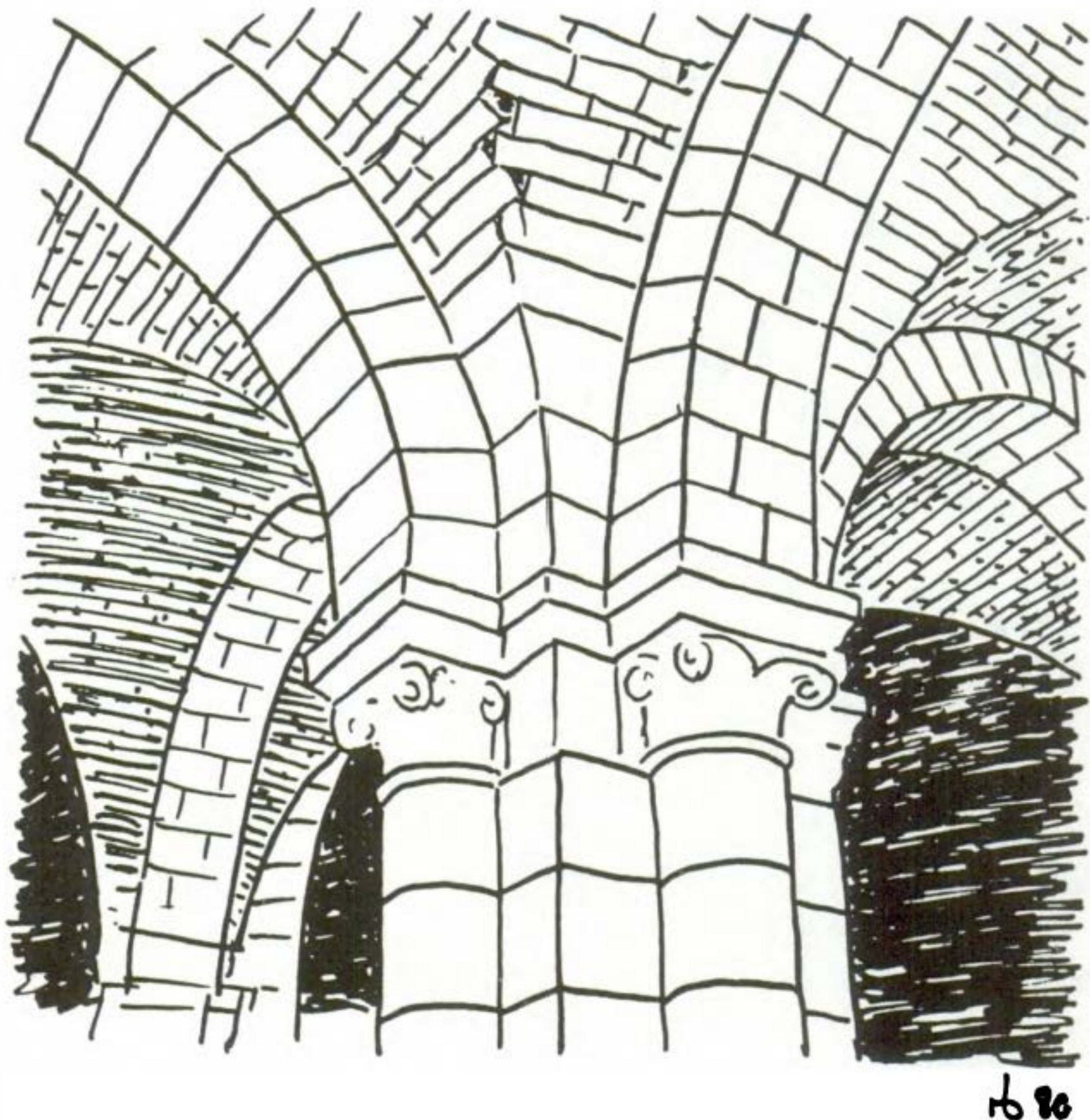
Quanto alla variante detta "esapartita", essa accresceva ancora le difficoltà, a causa delle superfici dissimmetriche a cui conduceva per le penetrazioni delle aperture a bifora da una parte e dall'altra del pilastro supplementare. Benché applicata in un certo numero di cattedrali importanti – ad esempio Notre-Dame di Parigi – venne presto abbandonata; si ritornò così alla pianta rettangolare, che già i primi tentativi di crociere ogivali avevano portato, molto logicamente, ad adottare per le navate principali. Nelle campate pentagonali, dove la nervatura offre una soluzione pratica ai problemi di raccordo, perché suddivide le vele in scomparti triangolari, gli strati dei conci si trovano disposti generalmente secondo due direzioni vistosamente perpendicolari, come nel deambula-

DEAMBULATORIO DI NOTRE-DAME DI PARIGI

Le necessità di costruzione hanno obbligato i muratori a disporre i conci secondo due direzioni perpendicolari: in seguito, simili accorgimenti verranno evitati, moltiplicando le nervature ad ogni vertice di arco a sesto acuto o ad ogni mutamento di direzione degli strati di pietre.

torio di Notre-Dame di Parigi: i muratori hanno fatto i riempimenti partendo dagli angoli, per evitare di avere tre direzioni, e hanno così creato, più o meno nell'asse del passaggio, fra le chiavi degli archi trasversali alternati, una vistosa e franca rottura nella disposizione degli strati. Nei secoli seguenti i gotici cercheranno di far scomparire proprio le rotture di questo tipo creando all'uopo delle nervature supplementari fra le quali gli strati verranno ad essere disposti secondo un'unica direzione. Ciò conduce ad una moltiplicazione delle nervature; gli effetti ottenuti da questo accorgimento costruttivo, in particolare nel Portogallo e in Inghilterra, sono spesso molto interessanti, ma nelle maglie di questa rete le grandi linee architettoniche tendono un poco a dissolversi. La riduzione di superficie degli scomparti delle vele faceva non soltanto sparire i problemi di inclinazione e di raccordo degli strati, ma riduceva inoltre considerevolmente i problemi posti dalle superfici sghembe; le vele così ridotte potevano, infatti, essere quasi piatte, oppure a minima curvatura: le curve, insomma, venivano considerate come dei poligoni composti da lati piccolissimi.

Poiché, nel gotico "classico", le vele delle volte a crociera erano, di necessità, costituite da superfici sghembe, il raccordo fra queste superfici risultava difficile, soprattutto nelle parti basse delle volte. In particolare, il taglio di alcuni conci di pietra doveva presentare delle notevoli difficoltà: da una parte e dall'altra degli archi diagonali di intersezione, infatti, la forma regolare della volta permetteva di tagliare senza grossi problemi le pietre; ma non doveva essere lo stesso per le linee di intersezione medesime, lungo tutte le quali la forma di ognuno dei conci deve essere diversa, anche quando la linea segue una regolare curva circolare: l'angolo diedro fra i piani tangenti ad ognuna delle volte a botte intersecanti è variabile, infatti, ad ogni strato.

I romanici, che già si erano trovati di fronte a questa difficoltà, avevano tentato in qualche caso di risolverla attraverso i conci, in modo che l'arco di intersezione fosse formato ora dal concio di una delle due volte a botte, ora da quello dell'altra; questa soluzione obbligava a tagliare in modo speciale ogni singolo pezzo di pietra. Se ne può vedere un esempio rustico nell'abbazia di Nanteuil-en-Vallée (Charente).

I romanici adottarono spesso anche la soluzione di intonacare le volte a crociera, in modo da nascondere i difetti di allestimento e poter quindi utilizzare delle pietre tagliate grossolanamente. Ma, anche così, gli archi diagonali delle volte non avevano delle curvature chiare e continue; lo si può vedere in numerose chiese romaniche (St-Philibert-de-Tournus, Le Puy-en-Velay ecc.). Per ovviare a questi inconvenienti, i romanici fecero ricorso talvolta alla mimetizzazione. Notre-Dame-la-Grande di Poitiers è uno degli edifici romanici più impressionanti: le sue pareti, le sue colonne, le sue volte sono interamente intonacate e dipinte con colori vivaci e con vari motivi decorativi, che conferiscono all'interno della chiesa un'atmosfera particolarissima e un poco barbara, evo-

VOLTA A CROCIERA ROMANICA IN PIETRA APPARENTE
(Abbazia di Nanteuil-en-Vallée, Charente)

cando molto verosimilmente il modo con cui gli edifici di quell'epoca erano normalmente addobbati. Le volte a crociera delle navate laterali hanno fasce più scure di pittura, che mettono in evidenza le linee d'intersezione e nascondono allo sguardo la loro curvatura un po' imprecisa. Questo tipo di decorazione prefigura una delle funzioni delle nervature gotiche: sostituire, ai punti d'incontro incerti e irregolari di due superfici curve, linee vigorose e precise. Ma questa soluzione ingenua non poteva certo soddisfare le esigenze dei costruttori gotici.

La soluzione semplice, pratica, ingegnosa ed elegante dei gotici fu di dissimulare queste linee di intersezione ricoprendole con profili sporgenti: le nervature. Esse costituiscono, nel caso della volta a crociera, i costoloni della crociera ogivale, propriamente detta.

La nervatura, quindi, appare dapprima come un mezzo per risolvere facilmente, con gli strumenti dell'epoca, il difficile problema dell'incontro di due volte a botte intersecanti, perpendicolari o meno. In questo ruolo di elemento incaricato di nascondere un difficile raccordo di superfici, la nervatura gotica era stata preceduta, nell'architettura romanica, da diverse forme di archi doppi trasversali, che servivano a facilitare il raccordo di superfici complesse, come nel caso di piante circolari. Ma, nell'architettura gotica, la nervatura ebbe ben altre funzioni, che possono spiegare perché essa si sia sviluppata fino a tal punto.

LE NERVATURE E LA CROCIERA OGIVALE

"L'architettura è un'arte che non mente", scrive Alain, che precisa: "Noi possiamo afferrare la caratteristica forse essenziale dell'architettura, tipo perfetto delle arti senza movimento, che è di non ammettere alcun inganno, nemmeno l'apparenza di un inganno"[18]. Ma con la volta, l'architettura non è più, propriamente parlando, senza movimento: certo, non si muove ed è anzi, per destinazione, immobile, ma non è del tutto "immutevole". È una fiera pronta a slanciarsi, che irrigidisce i suoi muscoli, in un equilibrio instabile e inquietante che un nonnulla può infrangere in un attimo. E le forze dell'architettura non sono sempre così apparenti come il buon Alain, falso ingenuo, ci vuol far credere. Si può dire che il suo discorso valga per le architetture statiche e senza spinte, dove sono visibili chiaramente le pietre – come i pesi – che si sovrappongono; ma non vale certo per quelle architetture dinamiche dove l'astuzia umana ha saputo, a profitto delle sue creazioni, spostare le forze e sospendere i pesi al di sopra del vuoto che tende ad aspirarli: vi si sente il fremito delle forze contrariate, delle membrature puntellate, delle tensioni soggiacenti; si indovina la tigre di pietra pronta a balzare, ma che si trattiene. Sono queste tensioni, sono queste forze quelle che, nell'architettura gotica, le nervature vogliono ricordare e sottolineare con maggiore o minore franchezza, e talora con una ostentazione che può andare fino all'inganno.

Una delle caratteristiche principali dell'architettura gotica è, senza alcun dubbio, l'impiego generalizzato delle nervature. Molti archeologi tendono a non vedere in esse che l'espressione di una ricerca estetica, un nuovo modo decorativo da cui i gotici seppero ricavare, indubbiamente, degli effetti potenti. Altri si sono sforzati di trovare, per le nervature, una più concreta ragion d'essere, dicendosi che, se si fosse trattato soltanto di un motivo decorativo, esso non avrebbe conosciuto un tale sviluppo e non si sarebbe generalizzato al punto

[18] Alain, *Les Arts et les Dieux*, (N.R.F.), La Pléiade, Paris 1958.

di diventare, forse, la caratteristica più vistosa e più notevole dell'architettura gotica.

Viollet le Duc, che si è rivelato, su tanti punti, un erudito, un analista, un ricercatore e talvolta un notevole precursore, ha visto nelle nervature una ossatura portante. Intere generazioni di archeologi, di storici dell'arte, di eruditi, sensibili alle apparenze, influenzati dai loro sentimenti e dall'eloquenza di Viollet le Duc, che poggiava sulla sua autorità di architetto e sulle sue indiscutibili conoscenze dell'architettura gotica (e anche– cosa che non era priva di rischi – sulla sua esperienza personale di... costruttore in stile gotico), hanno seguito ciecamente e senza alcuna discussione la sua orma. Architetto dell'epoca della prima costruzione metallica, Viollet le Duc interpretò ciò che vedeva negli edifici gotici secondo criteri che potrebbero essere definiti estremamente moderni: il ruolo strutturale che egli attribuisce alle nervature corrisponde infatti, più o meno, a quello che si potrebbe assegnare loro oggigiorno, se si volesse costruire in cemento armato o in metallo una volta gotica: il ruolo, cioè, di una ossatura portante, visibile e capace di sopportare una struttura secondaria di "riempimento".

Viollet le Duc, il quale, d'altra parte, crede che i gotici siano partiti dalla cupola, e non dalla volta a crociera, per arrivare alla crociera ogivale, espone la sua tesi nella maniera seguente: "I maestri capirono, poiché della cupola non si conservavano più che due diagonali o due sezioni fatte sulle diagonali di un parallelogrammo inscritto nel cerchio, base della cupola, che bisognava francamente attribuire a questi due archi incrociati una funzione utile e indispensabile; bisognava farne l'ossatura della volta e su questa ossatura portare degli scomparti indipendenti gli uni dagli altri, così da poter essere, allora, inclinati in tutti i sensi, messi di sbieco, allungati e fatti diventare molto curvi o quasi piatti..."[19].

Viollet le Duc mette bene in evidenza l'elasticità che si poteva ottenere, per la realizzazione degli scomparti (cioè delle vele), grazie ai costoloni della crociera ogivale, anche se essi, in realtà, non avevano, nell'architettura gotica, quella funzione di ossatura portante che viene loro attribuita da così tanti autori sulla scorta di Viollet le Duc – finanche nelle odierne guide turistiche[20]. Il ragionamento, il calcolo, l'esame delle volte demolite o deteriorate, nonché l'evoluzione stessa di questo motivo nell'architettura gotica, lo confermano.

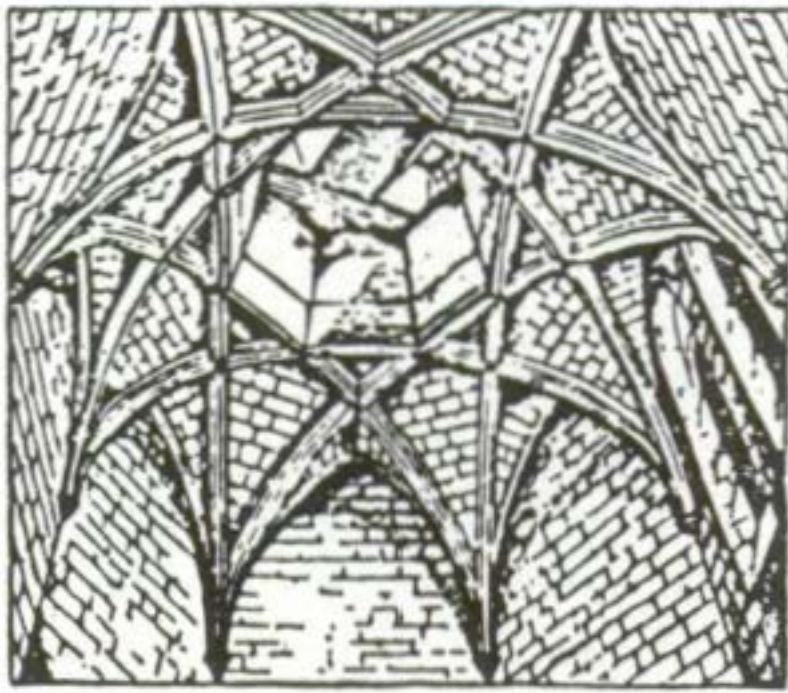
Noi cercheremo di analizzare, qui, il ruolo vero – e assai importante – delle nervature entro il sistema di costruzione gotico, e quanto questo ruolo per lo più differisca da quello degli analoghi motivi anteriori, che pure hanno, con queste

[19] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, VI, p. 431.

[20] In particolare *La grammaire des Styles – l'art gotique*, 8 e *Guide Michelin. Région Parisienne*, 1974, p. 17.

nervature, una somiglianza d'aspetto e poterono anche ispirare i costruttori gotici. È spesso difficile datare questa o quella parte di un edificio; inoltre, possono indurre in errore aggiunte o ricostruzioni posteriori. In molti edifici, in effetti, è accaduto che siano state fatte le coperture dapprima con armature di legno e, in un secondo tempo, con volte, quando i costruttori furono divenuti capaci di costruire volte più leggere e di meglio controllare e neutralizzare le spinte. Volte a crociera e nervature più o meno vistose sono elementi che erano già stati sperimentati, ma i gotici ne fecero una combinazione originale. Già i romanici collocavano nelle loro volte a crociera in pietrisco delle armature di mattoni che avevano la funzione temporanea di ridurre il peso gravante sulle centine. Jurgis Baltrusaitis ha segnalato l'esistenza, in Armenia, di archi trasversali o diagonali che reggono delle volte, in edifici del X e dell'XI secolo. Vi sono differenze essenziali, tuttavia, fra un sistema di archi sporgenti incrociati e l'ogiva del sistema adottato dai gotici: è stupefacente vedere l'analogia plastica fra questi archi a sezione rettangolare e quelli di cui si trovano differenti esempi nell'architettura romanica (come a Moissac) e che, effettivamente, hanno senza dubbio contribuito alla creazione della crociera ogivale gotica. Ma gli archi vigorosi dell'architettura armena non ricevono direttamente le vele di una volta: i diversi esempi di crociere segnalate ad Ani, antica capitale dell'Armenia, risalenti al X e all'XI secolo, reggono muri che, nettamente al di sopra della chiave comune ai due archi, portano dei soffitti piatti in armatura di legno o dei sistemi di scomparti; non vi è nessun dubbio, in questo caso, che degli archi robusti sopportino tutto il peso delle sovrastrutture: non si tratta affatto di volte a crociera con costoloni. Altre combinazioni armene di archi sporgenti, dove si trovano molti, e non più soltanto due, archi incrociati (tre ad Arades, quattro a Hahpat), mostrano bene, del resto, che ci si trova di fronte ad una soluzione originale, di cui i costruttori armeni si servirono in maniera molto abile. Alcuni esempi di tale soluzione (è difficile stabilire se si tratti di coincidenza o di derivazione) esistono, o sono esistiti, in Europa Occidentale: come, ad esempio, la disposizione di quattro archi incrociati, con spazio vuoto al centro, nella Torre Saint-Aubin ad Angers (che poteva essere giustificata da motivi di difesa o, più semplicemente, dal bisogno di creare un passaggio per le corde delle campagne), o come il sistema di due archi perpendicolari incrociati, che reggono dei muretti con sopra un soffitto (ad esempio nella torre Guinette, a Etampes, che è stata riprodotta da Viollet le Duc[21]). Un'influenza armena, dati gli scambi attestati dalla storia, non è comunque da escludersi: la chiesa di Saint Gregoire di Pithiviers era armena, ed anche quella di San Miniato vicino a Firenze.

Ma anche nell'architettura musulmana si trovano degli archi incrociati che reggono delle cupole centrali; ne esiste un bellissimo esempio in Spagna: il

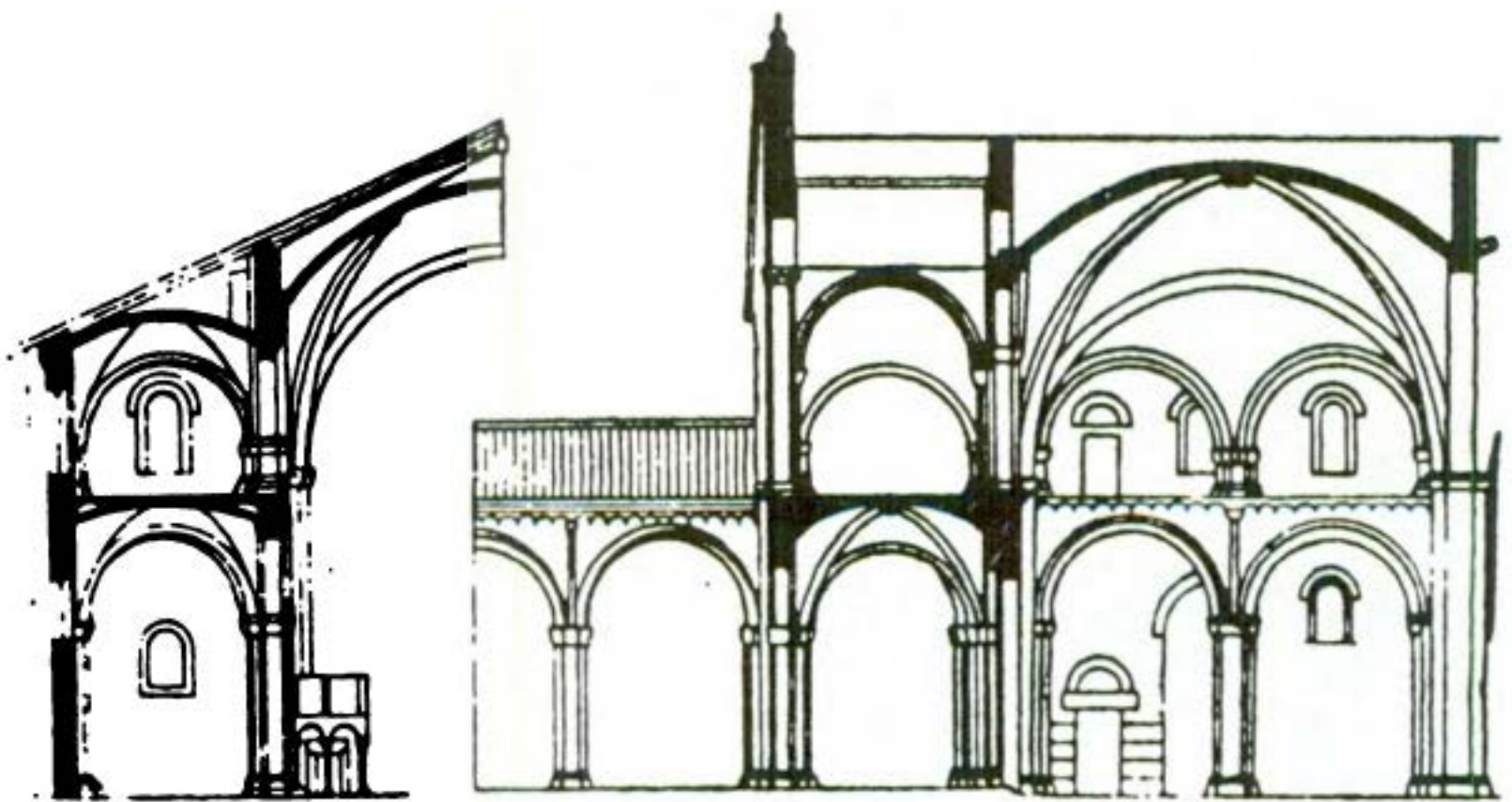
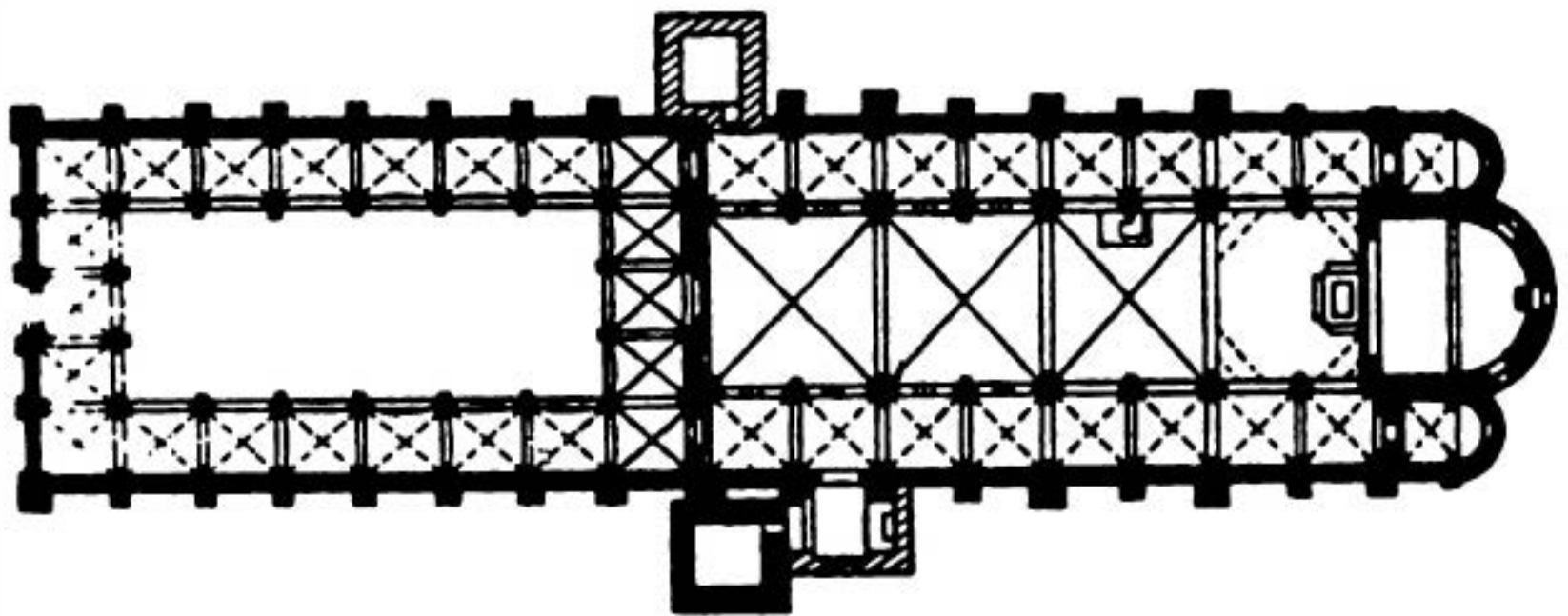
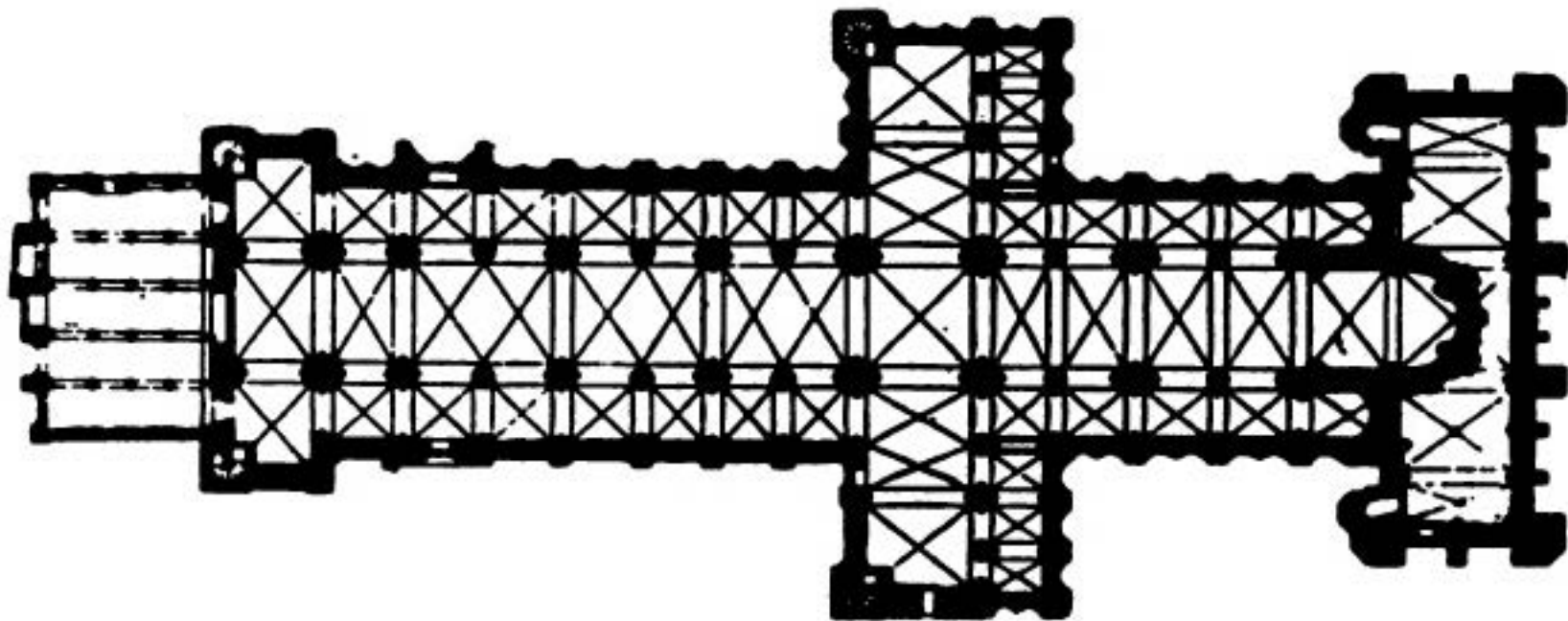
[21] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, V, p. 55.

Volta della cucina dell'abbazia di Durham, secondo J. Harvey (John Lewyn, 1366).

mirhab della Grande Moschea di Cordova, anteriore all'anno Mille. Il suo schema presenta grandi analogie con gli esempi armeni e in particolare una sorprendente somiglianza con la volta di una cucina monumentale dell'abbazia di Durham, dovuta a John Lewyn (1366).

Lo scopo è il medesimo: lasciare spazio per la piccola lanterna centrale.

Ma ancora più simili alle nervature gotiche sono gli archi doppi trasversali dell'architettura romanica: essi fanno parte integrante delle volte che ritagliano, ritmando le volte a botte ad ogni campata e collegando i capitelli dei pilastri o delle colonne che si fronteggiano: questi archi trasversali costituiscono – ed è normale, poiché è difficile separare le costruzioni gotiche dalle costruzioni romaniche, dalle quali esse derivarono – la vera prefigurazione delle nervature gotiche. Questi archi trasversali sono anche caratteristici dell'architettura cistercense, che rispecchiò, sotto una forma austera e spoglia, il passaggio dallo stile romanico allo stile gotico. Nelle volte a botte gli archi trasversali poterono aiutare a costruire il resto della volta, ponendosi come guide per il suo tracciato: d'altronde essi sono talora molto ravvicinati. Ma soprattutto, e in particolare quando essi venivano applicati a volte a pianta curva, in deambulatori o in chiese di forma circolare (ne esiste un bellissimo esempio a Quimperlé, in Bretagna), questi archi, dividendo la volta in scomparti, ne facilitavano la costruzione, poiché semplificavano i problemi di geometria da risolvere; permettevano, infatti, di sostituire a superfici "toriche" di difficile realizzazione semplici sezioni di volte a botte cilindriche. Utilizzando, in tal modo, gli archi trasversali per semplificare e per nascondere i raccordi fra superfici curve, le cui generatrici non si trovavano nel prolungamento l'una dell'altra, i romanici indicavano la via ai gotici i quali, mediante le nervature, avrebbero spinto più lontano la logica di questo sistema ingegnoso. Fra gli esempi anteriori all'epoca detta "gotica" esistono, d'altra parte, delle soluzioni ancora più elaborate, che

fanno appello a nervature talvolta addirittura incrociate, per risolvere il problema delle piante circolari: possiamo citare, in particolare, la Round Church di Cambridge, che è una chiesa normanna (cioè di uno stile corrispondente al romanico francese).

Gli archi trasversali che tagliano delle volte a botte, come li troviamo nell'architettura romanica, e in particolare nelle costruzioni cistercensi, evocano anche allo sguardo le "ordinate maestre" della costruzione navale. Esse sono i supporti principali, proprio come, nelle armature di legno per costruzione, lo sono le capriate, destinate a sostenere le travi del tetto: non è il caso, però, degli archi trasversali i quali, pur aumentando localmente lo spessore della volta, la rinforzano soprattutto per l'occhio, mettendo in evidenza il ritmo delle campate. Tuttavia in alcune regioni, come la Normandia o l'Inghilterra, dove le tradizioni marittime erano vivaci ed i carpentieri costruivano nello stesso tempo

VOLTE PREGOTICHE CON NERVATURE (fine dell'XI secolo)
Chiesa di Sant'Ambrogio a Milano (da Dehio e Bezold). Pianta e spaccato. Campate quadrate nella navata principale, corrispondenti a due campate nelle navate laterali.

VOLTE PREGOTICHE CON NERVATURE (fine dell'XI secolo)
Cattedrale di Durham (Inghilterra). Pianta secondo Harvey. Campate rettangolari corrispondenti alle campate delle navate laterali. Nel coro, un arco trasversale ad ogni campata. Nella navata principale, vi è solo un arco trasversale ogni due campate e le colonne corrispondenti agli archi trasversali sono più importanti. L'intersezione del transetto è contrassegnata da una volta a crociera a pianta quadrata.

sia imbarcazioni sia navate di chiesa, non deve stupire che i costruttori abbiano subito l'influenza e ricevuto una certa ispirazione dalle tecniche navali. Ciò è evidente nelle chiese con "volte" di legno, fra le quali quella di Nonfleur è la più conosciuta: ma si tratta, appunto, di costruzioni in legno e non in pietra, non bisogna dimenticarlo. "In Inghilterra, ad esempio, scrive Viollet Le Duc[22], non si può negare che tutte le costruzioni in legno del XIV e del XV secolo, ancor oggi numerose, abbiano una grande analogia con l'arte della carpenteria navale. Le disposizioni dei legni, la loro forza relativa e l'impiego frequente di sagome curve riconducono incessantemente lo spirito di chi osserva verso le tecniche di carpenteria navale".

Il carpentiere Raoul Vergez va anche più lontano quando afferma: "È innegabile che i costruttori di cattedrali si ispirarono, fin dalle origini dell'architettura ogivale, alla costruzione navale". Egli osserva che uno fra i più antichi riti della corporazione è chiamato "la nave capovolta". "Da secoli i costruttori hanno l'abitudine di spiegare certe loro usanze con queste parole: 'l'architettura viene dal mare'. Ed il termine 'navata' (*nef*) che serve, fra l'altro, a designare la volta di una chiesa, era un tempo – e rimane tuttora – il nome di una nave 'velata' e 'sagomata'. Fin dall'antichità, l'architettura del mare ha preceduto e influenzato l'architettura 'terrestre'"[23]. Anche senza che ci si lasci trasportare dal lirismo del carpentiere, si può pensare che l'esperienza normanna di costruzione

[22] *Ivi*, VI, p. 257.
[23] R. Vergez, "Autour de 600 ans des constructions navales", in *Bois d'Aujour-d'hui*, p. 34 (1971).

di imbarcazioni, dove si ottenevano notevoli resistenze con degli spessori molto sottili, convenientemente curvati, irrigiditi e rinforzati con nervature, non sia stata estranea all'audacia dei gotici in materia di volte sottili, talora veri e propri gusci a doppia curvatura. Ma le "ordinate maestre" costituiscono l'ossatura – lo scheletro – delle navi: gli archi doppi trasversali, al contrario, non reggono le volte a botte, anche quando sono con esse solidali. L'architetto e ingegnere Pol Abraham[24] ha spiegato molto chiaramente che l'arco trasversale non rinforza in maniera sensibile la volta, aggiungendo che, se si ha un minimo divaricamento dei piedi, l'arco trasversale, a seconda che sia, o meno, incorporato alla volta, si distacca da essa oppure esercita su di essa un effetto più nefasto che utile. Se i gotici, come i romanici, amarono il motivo degli archi concentrici, le ragioni sono parecchie: da una parte esso permette economie sulle centine (poiché solo il primo arco ne ha bisogno, mentre gli altri poggiano, in aggetto, sul precedente, finché non sono chiusi); d'altra parte, questi archi concentrici a strati successivi, simili a onde di forza, resistono meglio di quanto non farebbero archi dotati di cunei di grande dimensione nel senso perpendicolare alla curva. Archi di questo ultimo tipo sono frequenti nell'architettura italiana del Rinascimento, ma, in questo caso, sono incorporati dentro muri massicci e pesanti nei quali una divaricazione dei piedi sarebbe impensabile: tutto ciò non ha alcun rapporto con l'architettura leggera e talora quasi trasparente dei gotici.

L'applicazione del sistema dei costoloni alle volte a crociera costituisce la crociera ogivale gotica, o più semplicemente l'ogiva propriamente detta, benché questo termine sia servito, in maniera abusiva, a designare l'arco a sesto acuto, o addirittura l'arte gotica tutta intera, creando così una fonte di confusione che i poeti romantici prima e i militari della nostra epoca poi – con le "ogive" dei proiettili e, oggigiorno, con le "ogive nucleari" – hanno contribuito a propagare. Le ogive, secondo il significato originale, sono quegli archi incrociati, generalmente tracciati a tutto sesto, che mettono in evidenza e ricoprono le linee d'intersezione determinate dall'incontro di due volte a botte perpendicolari. La sezione verticale di queste volte a botte, o almeno delle nervature, archi trasversali o archi-forma, che ne rivelano l'incontro con le pareti o che le tagliano, è normalmente, nell'architettura gotica, un arco a sesto acuto. Ma all'inizio non fu così, come mostrano i primi tentativi.

Si ritiene che le prime grandi crociere ogivali siano quelle del coro e del transetto della cattedrale di Durham, in Inghilterra (1093-1104), proprio all'inizio del XII secolo. Non vi è nulla di sorprendente nel fatto che i primi tentativi a grande scala di questo nuovo sistema si incontrino in Inghilterra: William di

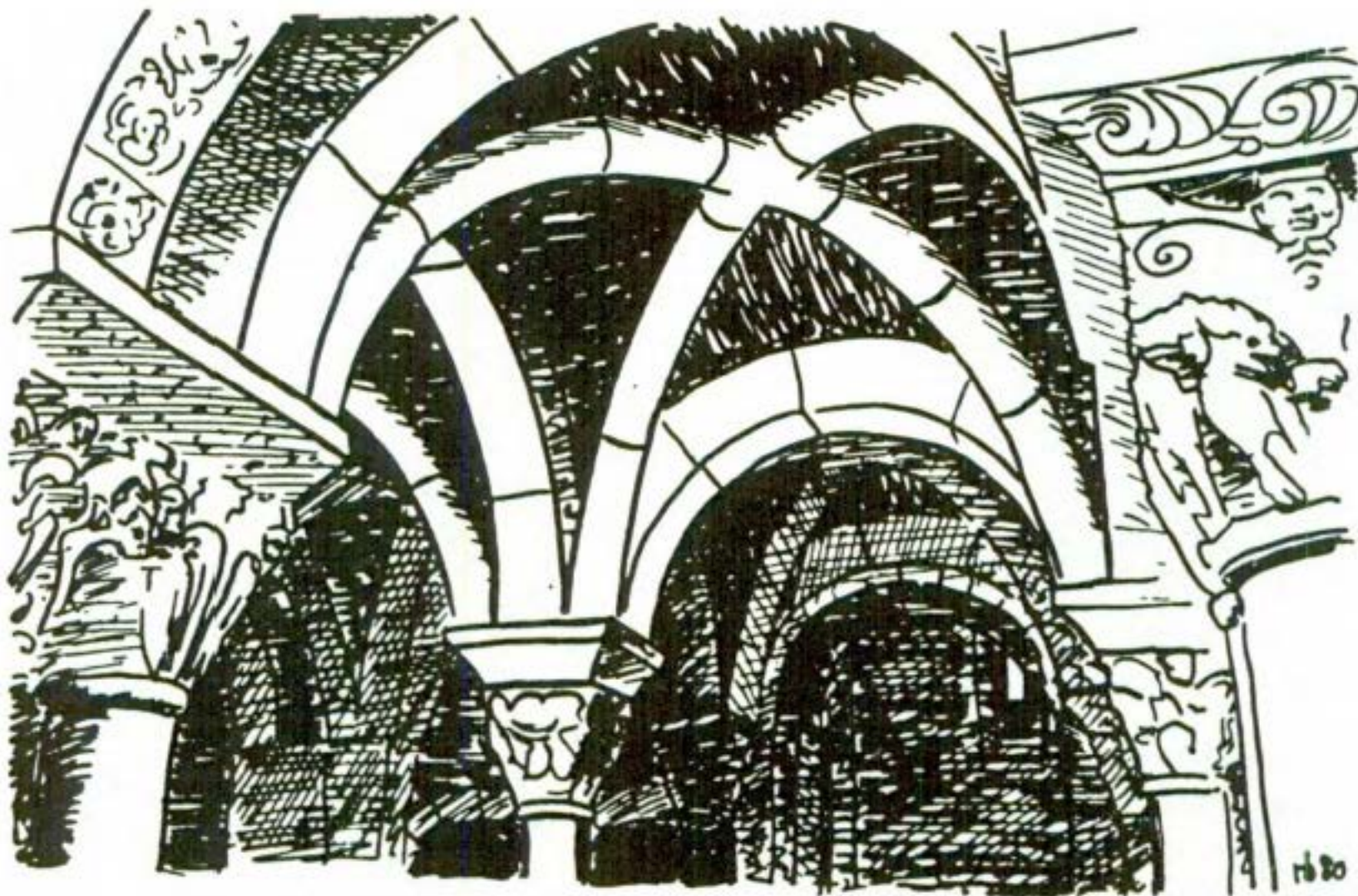
[24] P. Abraham, *op. cit.*, p. 19.

Malmesbury descrive come all'inizio del XII secolo i conquistatori normanni cercassero con tutti i mezzi – ma col minor costo possibile – di realizzare delle immense costruzioni al fine di ingelosire i loro pari e di superare i loro feudatari, e difendessero i loro sottoposti contro gli stranieri, sfruttandoli, però, e deprendandoli loro stessi... e aggiunge: "potete vedere dovunque delle chiese nelle città e dei monasteri nei villaggi e nei borghi elevarsi secondo un nuovo genere di costruzione, mentre il paese fiorisce in uno stile moderno"[25]: in quel paese conquistato e ridotto al rango di una colonia, che era l'Inghilterra in quell'epoca per i Normanni, i quali vi avevano messo piede trenta anni prima, gli architetti potevano fare degli esperimenti e innovare senza i freni del conservatorismo del vecchio paese. E in quella terra di missione, che era allora la marca settentrionale dell'Inghilterra, bisognava anche rispondere alle necessità di edifici di culto, necessità che era invece già soddisfatta in Normandia; d'altra parte, era possibile disporre, per torchiare i popoli colonizzati, di mezzi più ampi che non quelli che potevano essere usati nella metropoli, dove vivevano popolazioni di razza normanna non sempre disposte a pagare grossi contributi per offrirsi una chiesa di nuovo stile. Queste crociere ogivali di Durham, poggianti su enormi pilastri rotondi, non fanno appello che al sistema a tutto sesto, non soltanto per la crociera, ma anche per gli archi laterali. Fra quelli trasversali, tuttavia, si trovano degli archi a sesto acuto. La volta a crociera ogivale appare anche in Lombardia, nella chiesa di Sant'Ambrogio a Milano, verso la fine dell'XI secolo, e di nuovo con degli archi trasversali a tutto sesto: "Le ogive, molto pesanti, hanno l'aspetto di semplici copri-giunti collocati sulle linee di intersezione"[26]. Nel Midi della Francia si possono vedere esempi di crociere ogivali dove non sono state ancora sviluppate tutte le possibilità del sistema[27]. Nelle chiese romaniche del Sud-Ovest della Francia si vedono dei costoloni incrociati sulla campata centrale della crociera del transetto, talvolta anche sulle campate del transetto. I cistercensi, amanti della pietra nuda e ben tagliata, compresero immediatamente l'importanza dei costoloni per coprire le linee d'intersezione delle volte formanti crociera: sono, talvolta, delle volte a botte a tutto sesto[28], gli incroci fra le quali vengono coperti da costoloni, che permettono di ovviare al difficile problema del taglio di pezzi di pietra per le linee di intersezione; talvolta sono invece delle volte a botte a sesto acuto, l'incrocio delle quali avviene secondo linee di intersezioni circolari ornate da nervature (generalmente con forma rigonfia "a sanguinaccio", o a tondino), secondo il

[25] J. Harvey, *The Medieval Architect*, Wayland, London 1972, p. 60.

[26] M. Eschapasse, *L'architecture Bénédectine en Europe*, Deux Monde, Paris 1963, p. 44.

[27] In particolare: portico di St-Victor a Marsiglia, cripta di St-Gilles, navata del Fréjus, cappella St-Victor di Castellane (cit. da M. Aubert e S. Verrier, *op. cit.*).

[28] Navata di Léoncel (XII-XIII sec.), sala capitolare di l'Escale Dieu (metà del XII sec.).

VOLTA A CROCIERA ROMANICA CON NERVATURE

(Serrabone, Pirenei Orientali)

La volta con nervature a tondino di Serrabone presenta, come anche i capitelli, delle forti analogie con le "prime" volte ogivali (gotiche) di Morienval (Oise).

principio che verrà poi generalizzato dai gotici[29]. Presso i cistercensi la crociera ogivale è spesso riservata unicamente alla crociera del transetto[30]. Essa è impiegata con maggiore frequenza, ma in generale con una forma più abbassata (poiché le basi della volta sono spesso inclinate, e non verticali), nei chiostri cistercensi, nelle sale annesse o nelle navate laterali[31].

Nella chiesa di Morienval (inizio del XII secolo), che viene spesso citata come il primo esempio di crociera ogivale nell'Ile-de-France, viene risolto, con l'aiuto di una volta a crociera, il problema di un deambulatorio a pianta circolare intorno al coro: grosse nervature a forma rigonfia si incrociano a vicenda, dissimulando le difficoltà che si presentano per coprire spazi così piccoli, ma le superfici della volta che restano visibili fra le nervature sono molto ridotte: la dimostrazione è ancora ingenua e assai più goffa, e, dopo tutto, meno caratteristica delle piccole volte a crociera, con costoloni, a pianta quadrata, che si trovano nell'atrio romanico della chiesa di Serrabone, nel Rossiglione, la cui co-

[29] Chiostro di Fontfroide, Navata di Noirlac (1150-1160), Navata di Pontigny (1150).

[30] Flaran (1180-1220), Sylvacane (1175-1230).

[31] Cantina di Noirlac, Sala capitolare di Sylvacane e di Noirlac, Chiostro di Fontfroide, Collaterale Nord di Flaran.

struzione cominciò nel 1101 e terminò verso il 1140; qui, nervature di marmo, incrociate, che ricordano in modo sorprendente quelle di Morienval, ricoprono le linee di intersezione delle volte, costituite da piccole pietre tagliate. Queste nervature dalla forma rigonfia "a sanguinaccio" – o, per usare un termine più adeguato, con forma "torica" – erano facili da realizzare e perfino da prefabbricare: poiché, infatti, la curva generale era un cerchio regolare e la sezione della nervatura era in ogni punto la stessa, le pietre potevano essere tutte identiche, salvo la chiave a forma di croce, oppure sporgente, sulla quale confluivano le nervature.

Spesso, nell'architettura gotica, queste stesse nervature a tondino continuano verticalmente, talvolta addirittura senza arrestarsi sui capitelli, cosi da formare fasci di colonne attorno ai pilastri o contro i muri. In seguito, gli architetti adottarono, per le nervature, dei profili diversi, più spigolosi e tali da offrire un'alternanza di differenti superfici; le nervature potevano cosi essere meglio adatte a volte assai alte, sulle quali sagome più nette risaltavano meglio che non sagome arrotondate, soprattutto nell'ambiente colorato e confuso creato dalle vetrate. Ma si può anche pensare che molti di questi motivi siano più comodi per la messa in opera: un pezzo piatto fra due modanature, forma frequente, è assai più comodo da collocare su una centina che non un grosso pezzo arrotondato, che deve essere messo in una sorta di grondaia di legno più difficilmente estraibile in seguito: non vi è alcun dubbio che tali esigenze di cantiere abbiano avuto il loro peso nello spirito pratico dei costruttori gotici.

Agli inizi del sistema, essi tentarono di conservare l'arco a tutto sesto non solamente per le crociere ogivali, ma anche per le volte a botte intersecanti. In alcuni casi, come ad esempio con volte a pianta rettangolare, il tipo a tutto sesto ha potuto essere conservato per gli archi trasversali; ma per l'arco-forma laterale è invece indispensabile una curvatura più slanciata, giacché, in caso contrario, la sua chiave verrebbe a trovarsi troppo al di sotto di quella della crociera e le vele risulterebbero troppo sformate o troppo convesse. In pianta quadrata (ne abbiamo già spiegato la ragione), se i sei archi (diagonali, trasversali e laterali) sono a tutto sesto, la chiave della crociera viene a risultare molto più alta rispetto ai vertici degli archi laterali, che sono di diametro più piccolo: una simile volta cupoloide peserebbe così sui vertici di questi archi. Ora, per poter creare delle aperture nei muri laterali, bisognava condurre tutte le forze sui quatto angoli, cioè costruire delle vere e proprie volte a crociera. La soluzione cupoloide esigeva, al contrario, delle superfici che presentavano gli stessi inconvenienti della cupola e creavano quelle difficoltà di realizzazione che abbiamo già ricordato trattando quel soggetto.

La direzione degli strati di pietre nelle vele deve rivelare se si tratta di una volta a crociera o di una cupola con nervature: nel primo caso, essi sono approssimativamente paralleli alle linee di colmo di ognuna delle due volte che si in-

crociano; nel secondo caso, gli strati formano dei cerchi orizzontali che si ripetono nonostante le nervature che li attraversano.

Viollet le Duc scrive che gli architetti si servivano degli archi ogivali "come fossero centine, su cui stendevano i triangoli delle vele"[32]. In realtà, anche se i costoloni non potevano dispensare dalla costruzione delle centine (non fosse altro che per sostenere i costoloni stessi), è certo, d'altra parte, che essi giocavano un ruolo essenziale come guide e supporti per la costruzione delle vele (o triangoli di riempimento) e che poi, dopo lo smontaggio delle centine, restavano solidali con la volta.

Ma anche qualora i costoloni fossero stati di sezione sufficientemente forte, sarebbe stato rischioso utilizzarli a loro volta come centine, dopo aver smontato la centina di legno che li sosteneva, secondo quel che sembra suggerire Viollet le Duc: finché non erano bloccati dalle vele, infatti, i costoloni di una crociera ogivale, anche quando avevano delle sezioni relativamente forti, non potevano costituire degli archi portanti: essi restavano estremamente fragili; un minimo sforzo laterale, e addirittura semplicemente una flessione, sarebbero stati sufficienti a disgiungerli. Choisy, che ha seguito la tesi di Viollet le Duc sulla funzione di ossatura delle nervature e sulla loro "flessibilità", e i cui notevoli disegni sono stati riprodotti molte volte, spiega[33] che solo la nervatura poteva essere retta da una centina; un semplice tavolato curvo gettato da una centina all'altra poteva bastare, in seguito, per sostenere le vele. "Quando esse esistevano nelle volte del Medioevo di qualunque specie, le nervature erano naturalmente i primi elementi che venissero messi in opera. La loro costruzione, nelle volte gotiche, era un procedimento assai meno complesso che non nel caso delle volte romaniche, poiché esse potevano venir realizzate indipendentemente, una campata per volta, sopra delle centine sottili e relativamente facili da maneggiare, che potevano essere riutilizzate per le campate successive"[34].

In questo modo le nervature, che rimanevano sul posto come una sorta di "rivestimento perduto", erano probabilmente le uniche parti della volta che richiedessero delle vere e proprie centine. Essendo archi di una certa ampiezza, nervature e costoloni potevano, assai più facilmente che non una linea muraria di intersezione, venir posati e ben regolati sopra una centina (la quale, poi, era facile da realizzare, perché seguiva una curvatura circolare). Le vele situate fra le nervature o i costoloni potevano essere eseguite, per la maggior parte, senza centine, o comunque con dei supporti semplificati e discontinui. La leggera convessità, che i muratori davano a queste superfici triangolari, contribuiva a facilitare la messa in opera; le vele, però, dovevano anche conformarsi alle cur-

[32] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, I, p. 187.
[33] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 274-275.
[34] J. Fitchen, *op. cit.*, p. 98.

vature dei costoloni, con i quali si raccordavano. In ragione di questa esigenza, le vele non erano delle superfici sviluppabili, ma delle superfici sghembe. Comunque sia, nel caso della crociera ogivale, le nervature non avevano, quale funzione essenziale, quella di costituire l'ossatura di una superficie pesante, cioè della crociera (dove, in ogni caso, le pressioni si trasmettono nello spessore della volta, che essa abbia o non abbia nervatura, e dove comunque quest'ultima non fa che aumentare leggermente lo spessore): il ruolo delle nervature e dei costoloni era soprattutto, come abbiamo visto, di facilitare considerevolmente la realizzazione della volta, costituendo una fase essenziale della costruzione. L'esempio di numerose volte rimaste deteriorate, dove le nervature si sono distaccate ma la volta a crociera continua sempre a tenere, dimostra bene che, nel gotico francese del XII e del XIII secolo (quello che gli Inglesi chiamano con il termine "gotico geometrico"), non è la nervatura quella che sostiene la volta, sia o non sia solidale con questa. Lo stesso può dirsi per tutti gli altri casi di volta a nervature dell'epoca classica.

Al contrario, le nervature e i costoloni giocavano un ruolo fondamentale nella costruzione delle volte. "Qualunque debba essere il contorno, per mezzo di supporti isolati, si arriverà sempre a stabilire una rete di nervature e le maglie potranno essere riempite, in un secondo tempo, con l'aiuto di pannelli di facile esecuzione"[35]. Choisy spiega anche[36] come la difficoltà di chiudere una volta avente delle sezioni assai sghembe e una linea di colmo difettosa conducesse i gotici "per ovviare a questo inconveniente, a stabilire una nervatura supplementare, una lierna", così da dissimulare il raccordo. "La cattedrale di Laval presenta delle volte dove la 'lierna' gioca visibilmente il ruolo di copri-giunto...", "...nella cattedrale di Angers, le nervature si riducono a dei filetti talmente sottili che il loro ruolo è nullo". È insomma proprio lo stesso Choisy, il quale, ciò nonostante, è un partigiano della teoria che nella nervatura vede un'ossatura portante, a citare degli esempi che vanno contro questa teoria e dimostrano come i gotici, davanti ad uno spinoso problema di raccordo di superfici, ricorressero sistematicamente a delle nervature.

Che la nervatura non sia un'ossatura portante nel gotico francese del XII e del XIII secolo, d'altra parte, non è per nulla in contraddizione col fatto che si trovino ancora in piedi, negli edifici in rovina, delle nervature e dei costoloni, mentre una parte delle vele, ad esempio in seguito a bombardamenti, è invece caduta: la nervatura è infatti perfettamente capace di reggersi da sola, ma non di reggere a sua vola le vele. Le nervature solidali con le volte – cioè i cui cunei hanno le "code", ossia le estremità, strette fra i conci delle vele – producono un certo effetto di irrigidimento, perché aumentano localmente l'altezza dell'ele-

[35] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 265.
[36] *Ivi*, II, p. 277.

mento portante. Ma, come abbiamo spiegato per gli archi trasversali, ciò non ha necesssariamente un effetto favorevole qualora i supporti tendano a divaricarsi: poiché, infatti, la pietra non è un materiale capace di lavorare alla trazione, i giunti dell'intradosso si aprono e la nervatura avrà allora tendenza a rompere la solidarietà con le vele vicine, che hanno un più grande sviluppo sull'intradosso. Si producono, allora, delle distorsioni pericolose. Soltanto con un materiale capace di lavorare alla trazione, come ad esempio il legno, il metallo, il fibrocemento, il cemento armato, è possibile che le nervature, aumentando localmente lo spessore della struttura, contribuiscano alla resistenza. Con la pietra, invece, è più logico avere degli strati concentrici: è il sistema usato in molti vestiboli ed arcate, tanto romaniche quanto gotiche.

Le nervature con "code" penetranti nella volta vennero ampiamente utilizzate in Inghilterra. Nel gotico inglese, infatti, a partire dal XIV secolo, le nervature si moltiplicano: i riempimenti delle vele (spesso realizzati con delle pietre ordinarie del paese, squadrate grossolanamente, laddove le nervature sono fatte con pietre ben tagliate e talvolta importate da lontano) vanno a poco a poco riducendosi: le molteplici nervature, allora, costituiscono la parte essenziale della volta. A questo punto, la loro funzione strutturale non è più transitoria: esse formano il corpo della volta e la parte principale della stessa massa portante; queste nervature, pertanto, sono normalmente legate alla volta e risultano con essa solidali. Ma questo non era possibile che in un paese più ricco di legname della Francia, poiché era assolutamente necessario collocare delle centine sotto ogni nervatura. È questa, a mio parere, una ragione di più che spiega quello sforzo così intenso di standardizzare le curvature che è stato osservato[37] nel gotico inglese.

Nel gotico francese, al contrario, le nervature degli archi diagonali sono quasi sempre sprovviste di "coda", come mostrano gli edifici parzialmente caduti in rovina, i cui elenchi e le cui fotografie sono stati pubblicati da diversi autori[38].

Durante i bombardamenti della guerra 1914-1918 si vide che parecchie volte gotiche resistevano, anche se le loro nervature erano state spezzate o si erano distaccate: si possono ricordare, in particolare, i casi di Noyon, di Saint-Quentin, di Notre-Dame, di Saint-Rémy di Reims e di Longpont. Documentazioni fotografiche prese in differenti regioni mostrano pure, in altri casi, che delle volte, anche deteriorate, resistono perfettamente senza le nervature: ciò conferma bene che queste ultime non hanno quel ruolo di ossatura portante che alcuni continuano ad attribuire loro. Il fatto che vi siano dei casi, come a Ourscamp, dove si vedono nervature ancora in piedi, mentre le vele sono cadute, non smentisce per nulla questa affermazione: non avendo da sopportare che il

[37] *Ivi*, II, p. 279.
[38] In particolare J. Fitchen, *op. cit.*, p. 217.

loro proprio peso, del tutto indipendenti dalle vele, le nervature non vengono necessariamente coinvolte nella rovina di queste, purché non ricevano dei colpi laterali: con la loro malta ormai pietrificata da secoli, è normale che le nervature resistano ancor meglio se sono incrociate, perché ciò le rafforza nel punto della loro massima fragilità.

Impegnato con passione a dimostrare l'inesattezza delle tesi di Viollet le Duc sulla statica della costruzione gotica, Pol Abraham afferma che la crociera ogivale si giustifica "prima di tutto" per delle ragioni di ordine plastico; egli precisa: "tuttavia, non vedervi sistematicamente che un fatto estetico sarebbe un'esagerazione altrettanto grave, forse, di quella della scuola di Viollet le Duc, che non vi riconosceva che un sistema di struttura... la nervatura fu un comodo strumento, insieme costruttivo ed estetico, per realizzare la volta a penetrazione generalizzata"[39].

Ma questo autore, che menziona l'importanza delle nervature nell'organizzazione del cantiere, non parla molto della possibilità, da esse garantita, di alleggerire maggiormente le centine, mentre Viollet le Duc aveva intravisto questo ultimo punto, che a noi sembra molto importante, tenuto conto dei problemi che i gotici incontravano in materia di centine e che abbiamo già esposto più sopra.

Se quindi si considera il caso della volta a crociera, "la difficoltà della sua costruzione e il suo peso, per forza di cose, assai elevato, a causa dello spessore necessario per la sua solidità, ne rendevano l'utilizzazione su una grande superficie molto difficile: la crociera ogivale faciliterà, invece, una tale costruzione. Essa, infatti, permette di sopprimere le impalcature costose ed ingombranti che sono indispensabili per alzare una volta a crociera... Si collocano le armature e le coperture per riparare il cantiere ed assicurare i muri, poi vengono lanciati, su centine, la crociera ogivale e gli archi trasversali e si aspetta che la malta faccia presa; infine, con l'aiuto di leggere impalcature, si costruiscono le vele della volta"[40].

L'utilizzazione delle nervature per alleggerire le centine trova una ulteriore conferma nel fatto che le cripte e i livelli inferiori delle costruzioni hanno frequentemente delle volte a crociera sprovviste di nervature: queste parti basse erano spesso costruite (secondo una tecnica molto antica, già impiegata dagli Egiziani e dai Romani) su delle forme di terra compressa. Ciò tende a confermare che le nervature sono elementi che non hanno il ruolo di centine, ma che hanno una funzione essenziale nel processo di centinatura. Un altro vantaggio delle nervature, al quale abbiamo già fatto cenno, risiede nella loro capacità di facilitare le connessioni delle superfici curve, sia che queste avvengano lungo linee di intersezione in aggetto oppure lungo dei raccordi concavi, permettendo

[39] P. Abraham, *op. cit.*, p. 59.
[40] M. Aubert e J. Varnier, *op. cit.*, p. 7.

di regolare in maniera comoda difficili problemi di voltamento. Ricordiamo, in particolare, quelli che si presentano nelle scalinate a spirale. Anche solo la vista delle rovine della scalinata elicoidale del castello di Laverdin – culla della famiglia dei Lusignani, il cui ultimo esponente fu re di Gerusalemme – dà un esempio dell'eleganza e della flessibilità di questo sistema.

Esistono numerosi esempi romanici di nervature a raggiera entro volumi poligonali: i gotici applicarono e svilupparono tale motivo.

Vennero immaginate diverse soluzioni, da parte dei gotici, per coprire gli spazi non rettangolari, in particolare le campate a pianta trapezoidale o a segmento circolare. Il deambulatorio di Notre-Dame di Parigi, ad esempio, è notevole per la libertà e per l'eleganza del motivo adottato; si tratta di una successione di triangoli alternati fra colonne, il cui numero è raddoppiato ad ogni circonferenza e fra le quali si muovono a zig-zag le nervature. È interessante paragonare questa soluzione a quella adottata, ad esempio, in una concezione romanica, come a Quimperlé (che già abbiamo citato), al tentativo mal riuscito di Morienval e alla soluzione, già molto più azzeccata, di Saint-Denis.

Si vede che il ruolo delle nervature è ben lontano dall'essere trascurabile: esso è anzi di primaria importanza. Ma non è quello che ha sostenuto Viollet le Duc (le cui osservazioni, e talvolta le cui ipotesi, su numerosi punti, si sono rivelate giuste e fruttuose). Non è neppure il ruolo che si continua ciecamente ad affermare nella maggior parte delle opere di erudizione o di volgarizzazione scolastica o turistica.

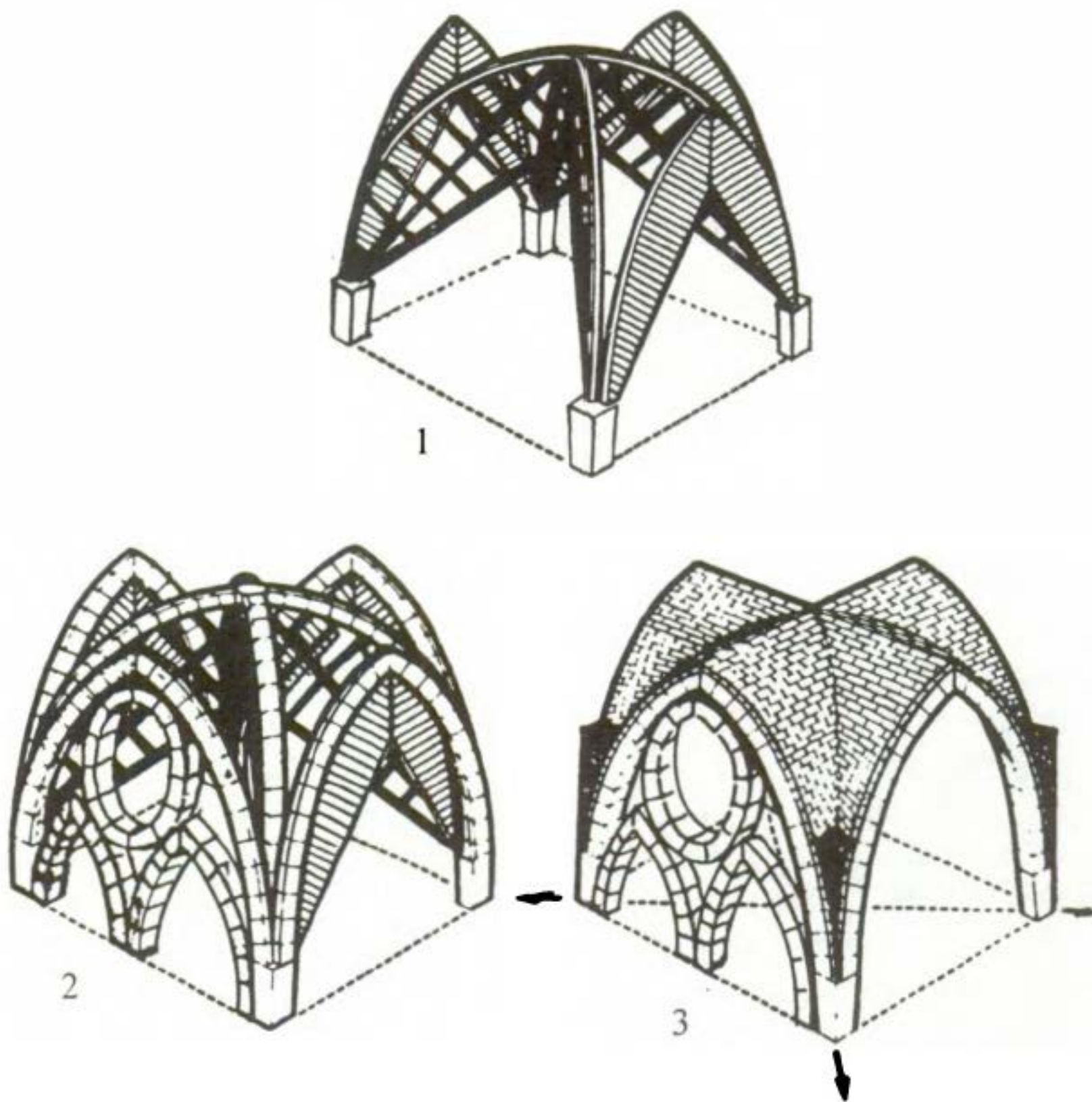
Cerchiamo allora di ricapitolare le principali possibilità ed i vantaggi che le nervature garantiscono al sistema costruttivo dei gotici.

In primo luogo, esse costituiscono una tappa ed un elemento primario nel procedimento di costruzione, poiché servono da guida per l'edificazione delle volte. Fra le nervature (relativamente facili da costruire, essendo delle semplici porzioni di cerchio), si costruiscono i triangoli di riempimento, cioè le vele, secondo una delle tecniche possibili che descriveremo. Così, a mano a mano che procede la costruzione e che la malta fa presa, a condizione di costruire simultaneamente i quattro angoli, la maggior parte del carico viene sopportato, senza dover aspettare la chiusura della volta, dalle pietre stesse della muratura.

Non dovendo così sopportare che un peso ridotto – talvolta semplicemente il peso della nervatura (poiché le vele sono appoggiate sulle nervature, ma in realtà reggono il loro stesso peso a mano a mano che le si costruisce) – la centina può essere più leggera: sarà dunque più facilmente collocabile (cosa che è molto importante, date le altezze a cui i gotici non temevano di elevare le loro volte) e nello stesso tempo più economica (e ciò è imperativo, in un'epoca di penuria di legname di grande sezione).

Molto vistose e deliberatamente messe in evidenza, le nervature fanno sparire allo sguardo le inclinazioni e le deformità delle vele da esse incorniciate. Esse

rendono possibile il raccordo di superfici dalla forma e dalla planimetria diverse, più o meno convesse e più o meno sghembe, in una maniera pratica ed elegante. Le nervature sopprimono ingegnosamente la difficoltà di dare un taglio preciso alle pietre lungo le linee di intersezione della crociera, nascondendo e dissimulando queste linee.

Poiché le nervature seguono, secondo combinazioni differenti, delle curve circolari – e talvolta la medesima curva viene seguita da differenti nervature – esse possono, in ragione di questo fatto, venire composte da elementi standardizzati,

PROCEDIMENTO DI COSTRUZIONE DELLA VOLTA GOTICA

1) Collocazione delle centine (quelle della crociera ogivale schematizzate in nero, quelle degli archi laterali e trasversali in tratteggio)

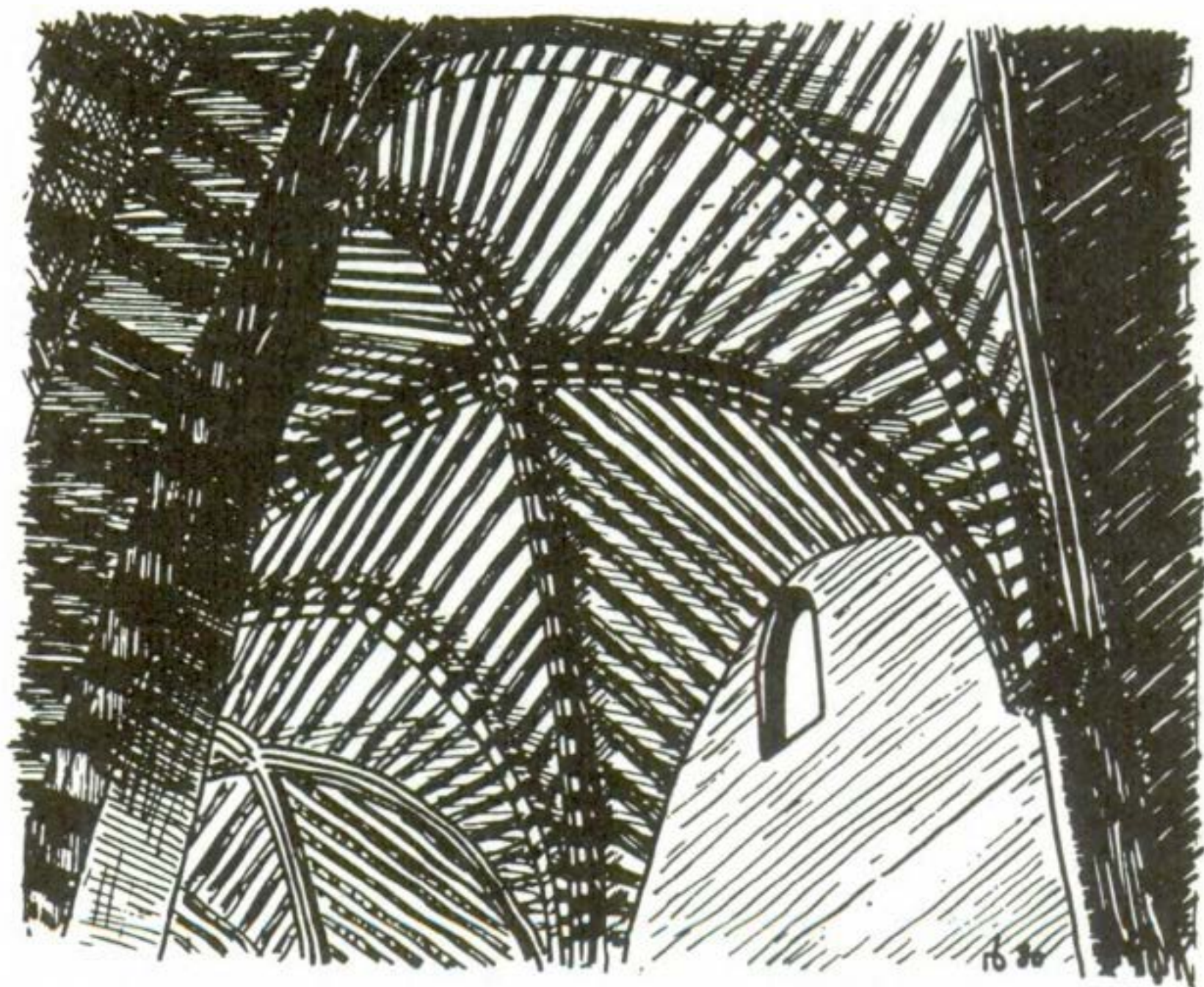
2) Costruite le finestre in pietra sul lato illuminato (che viene completato con dei puntelli provvisori che non sono raffigurati), si alzano le nervature

3) Dopo la costruzione delle vele, si possono togliere le centine, purché la volta sia puntellata (i contrafforti non sono raffigurati)

facili da tagliare in serie direttamente nella cava con il minimo spreco. Nelle vele, invece, potevano essere usate le pietre che capitavano, e i pezzi potevano essere molto meno curati che non quelli, da tagliare o da modanare, delle nervature.

Costoloni e nervature trattengono lo sguardo su elementi molto visibili, nervosi e decisi, tali da creare una sorta di rete da cui i gotici seppero ricavare uno straordinario motivo decorativo. Questa rete si manifesta, all'occhio e allo spirito, come un'ossatura apparente la quale – in una maniera più o meno ingannevole – ricorda e sottolinea il percorso delle forze che si propagano nella massa delle volte. La potenza evocatrice di questa rete è stata così forte da ingannare anche dei costruttori sulle reali funzioni delle nervature. Quando il gotico, a poco a poco, comincia a degenerare, perdendo la sua semplicità e il suo vigore, diventa mera decorazione e la caricatura di se stesso: le nervature, allora, si moltiplicano e si ramificano, mentre le superfici libere si riducono, rinchiuse dentro un vero e proprio reticolo dalle maglie sempre più strette. Le volte, infine, diventeranno sovraccariche di ornamenti, di sporgenze e di protuberanze: sarà il gotico barocco.

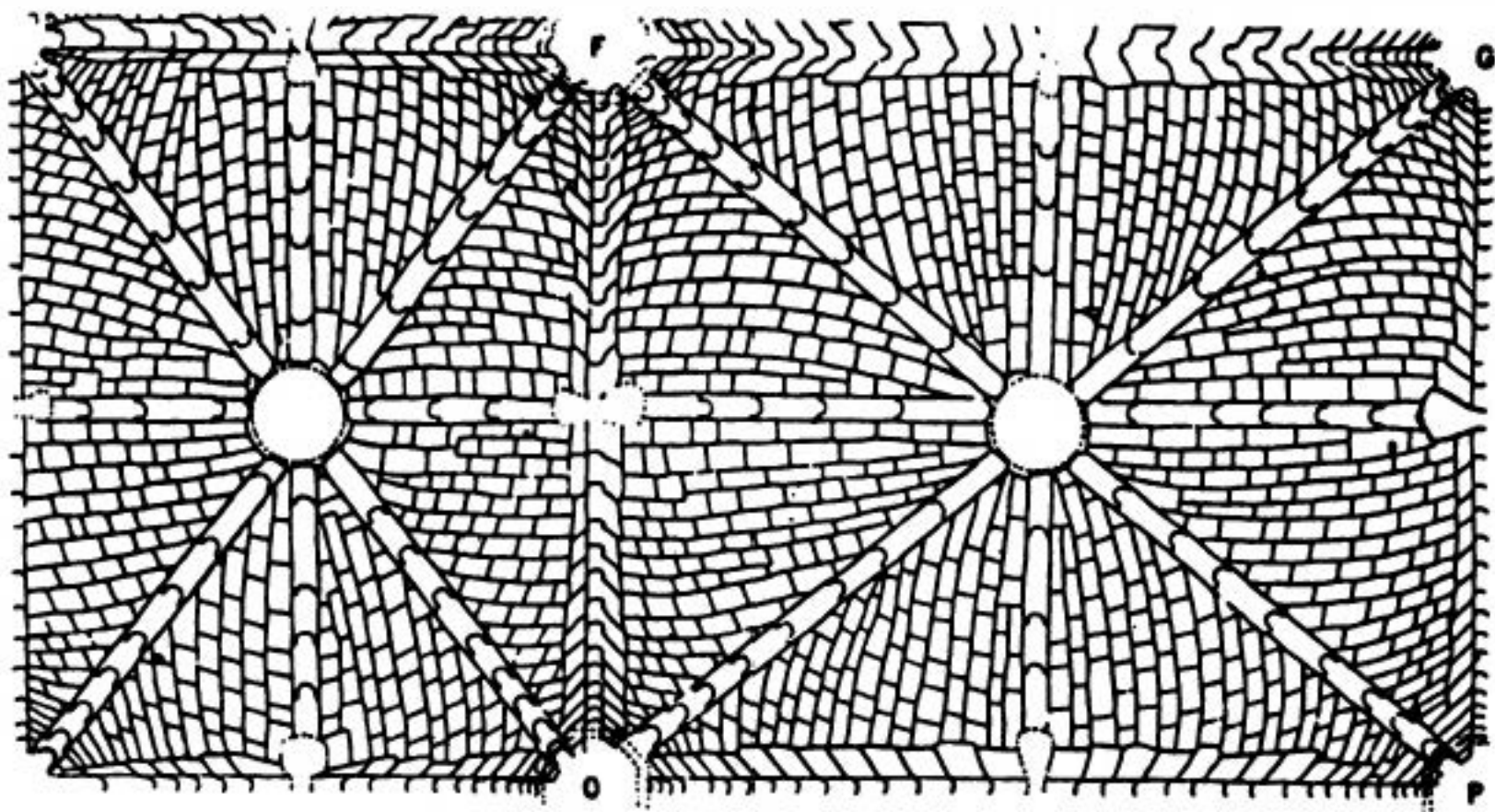
LE VELE DELLE VOLTE

Nella volta a crociera gotica, gli strati delle pietre tendono ad assumere una progressiva inclinazione partendo dalla linea del colmo: tale inclinazione, che appare assai frequentemente nelle volte gotiche, è dovuta alla sostituzione dell'arco a sesto acuto all'ellisse, che una geometria più rigorosa avrebbe imposto come conseguenza della scelta della curvatura a tutto sesto per le linee d'intersezione della crociera. Questa particolarità, che veniva sovente dissimulata con dei rivestimenti o delle pitture, si può osservare in modo particolare quando gli strati delle pietre sono a colori alternati come, ad esempio, nella cattedrale di Embrun. L'inclinazione creava dei problemi di tracciato per gli strati di pietre: questo tracciato, infatti, non poteva essere lasciato al caso, anche se era lasciato all'iniziativa del muratore: in simili occasioni, le nervature risultavano estremamente utili. Qualunque volta (sia essa una volta a crociera o una volta a botte) deve essere ovviamente costruita partendo dal basso, sistemando contro le centine gli strati di pietre successivi. Se i muratori gotici non avessero costruito per prime le nervature, avrebbero avuto delle difficoltà a disporre in maniera corretta gli strati, che vanno a poco a poco divaricandosi dalla parallela al colmo man mano che si discende lungo la volta: poiché, infatti, essi evitavano di costituire un supporto provvisorio sotto tutta la superficie delle volte, non potevano, di conseguenza, tracciare gli strati in anticipo, come si fa su una casseratura continua. Era possibile, invece, sistemare gli strati delle pietre usando come

CATTEDRALE DI EMBRUN

I colori alternati delle pietre delle vele mettono in risalto la progressiva inclinazione degli strati fra il colmo e le basi delle volte.

guida una ripartizione fatta sulle nervature, da una parte all'altra della vela da costruire: così, dopo aver tracciato lo schema partendo dal vertice, i muratori sistemavano le pietre partendo dal basso, simultaneamente nei quattro angoli.

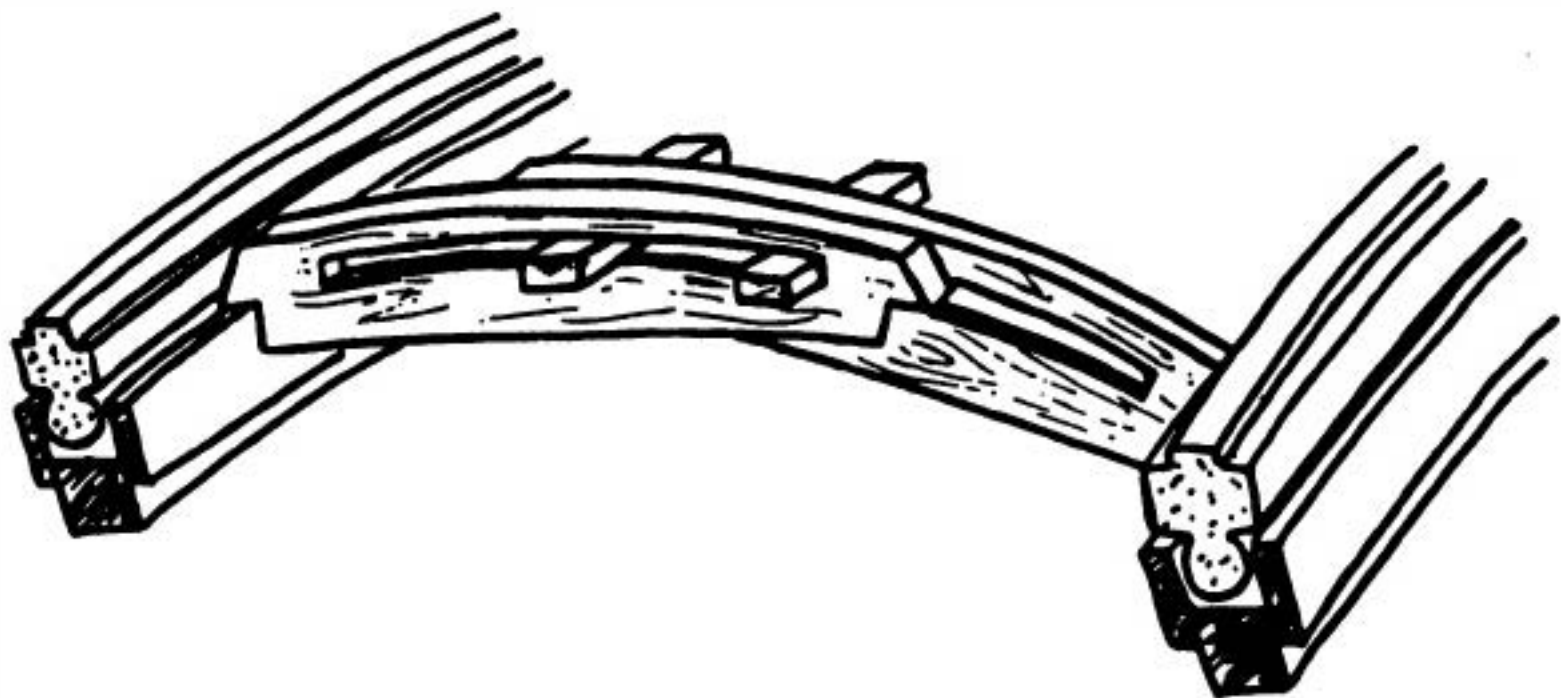
"Gli strati successivi di muratura non sono paralleli, ma inclinati in modo variabile, a seconda di ciò che il muratore trovava comodo o necessario per stabilire le superfici concave e sghembe generate dalle forme e dalle posizioni delle nervature, alle quali quelle superfici dovevano conformarsi"[41]. E Fitchen scrive: "Con dei punti di riferimento fissi, dati dalle nervature, per guidarlo e per ridurre le sue difficoltà, il muratore poteva lavorare tranquillamente, con la certezza che le forme distorte e curvate del riempimento della volta sarebbero derivate naturalmente – si potrebbe dire inevitabilmente – dalle tecniche di costruzione che egli aveva l'abitudine di impiegare"[42].

[41] C.E. Moore, *Development and character of gothic architecture*, Macmillan, New York 1906.
[42] J. Fitchen, *op. cit.*, p. 99.

DISPOSIZIONE DI UNA VOLTA GOTICA
Disposizione dei pezzi di pietra su una volta gotica: St-Serge di Angers. È evidente l'irregolarità dei riempimenti delle vele (doc. C.R.N.M.H.).

Abbiamo già fatto riferimento, nella prima parte di quest'opera, ad un esempio moderno, che dimostra l'importanza di poter utilizzare come guida un preciso elemento della costruzione – quello della Banca di Nouakchott, dove le griglie triangolari di difesa, collocate nella parte superiore dei muri esterni, servivano da guide per la sistemazione delle centine delle volte; esse assumevano il ruolo di archi-forma, analogamente alle parabole di fango essiccato che venivano tracciate sui muri dai muratori egiziani, secondo la descrizione di Hassan Fathy, di cui abbiamo parlato più sopra.

Prendendo come guide le nervature, i gotici partivano dagli angoli inferiori per costruire le vele e si aiutavano, quando era necessario, per le parti alte, con centine molto sommarie che potevano venire sospese all'armatura, o che erano analoghe a quelle che Viollet le Duc escogitò e poté impiegare nei suoi cantieri[43]. Queste centine estensibili sono state riprodotte fiduciosamente da Choisy, che afferma: "Quando le volte hanno piccola ampiezza, l'esperienza dei costruttori che hanno restaurato i nostri monumenti gotici prova che ci si può limitare ad una capriata centinata sotto ogni nervatura e si possono disporre gli strati delle vele senza altro appoggio che un cerchio estensibile"[44].

È assai dubbio che i gotici abbiano impiegato degli accessori di questo tipo, poiché simili elementi avrebbero avuto una curva fissa (variando soltanto la

[43] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, IV, p. 106.
[44] A. Choisy, *op. cit.*, II, 274.

MONTAGGIO DELLE VELE

Dispositivo di cerchio estensibile, inventato da Viollet le Duc per la costruzione delle vele (disegno R.B.).

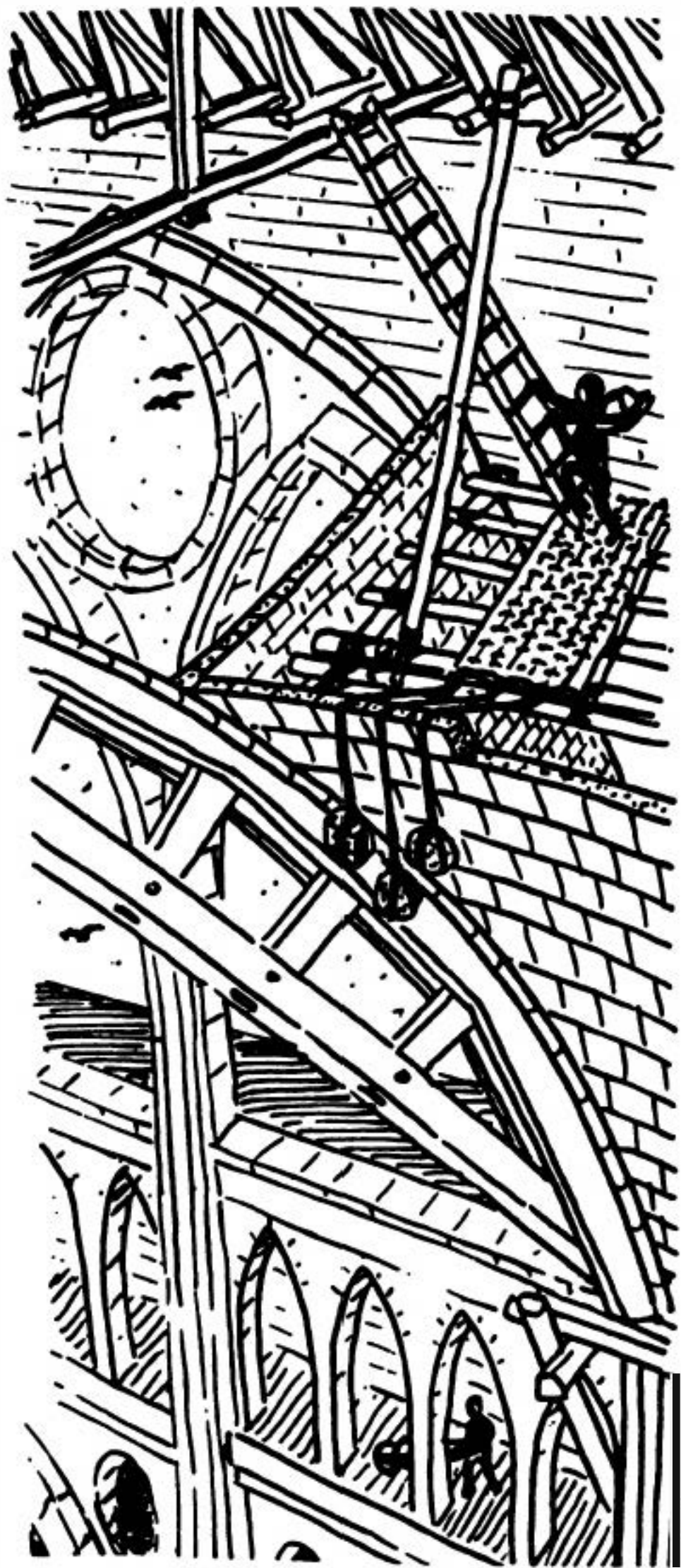
loro lunghezza) e questo sarebbe stato poco compatibile con la forma a curvatura variabile (superfici sghembe) delle vele delle volte. La casseratura delle vele ha dato luogo a molteplici ipotesi. Fitchen, in particolare, ha dimostrato che il sistema di cerchio regolabile inventato da Viollet le Duc non soddisfa le diverse esigenze di una cassaforma corrispondente alle superfici sghembe e curvate delle vele; scartando l'ipotesi dell'impiego di forme di terra (antico sistema sovente utilizzato nel caso di volte in sovrastruttura), egli ha ipotizzato dei dispositivi di putrelle ad arco che avrebbero potuto rispondere, mediante una grandissima quantità di legno, alle diverse situazioni. Ma autori inglesi come Fitchen possono dimenticare alcune condizioni particolari che sono proprie dell'Ile-de-France; ancora oggi vi è un contrasto sorprendente fra la provincia e la regione parigina nell'impiego del gesso: questo materiale, molto abbondante nella capitale, vi viene usato con una prodigalità che sorprende i costruttori di provincia e gli stranieri. Nel XIX secolo, ad esempio, i pavimenti portanti su putrelle di ferro erano costituiti normalmente da gesso e calcina massicci: quei venticinque centimetri di gesso pieno conferivano del resto ai pavimenti una notevole insonorizzazione, in un'epoca in cui le differenti classi sociali potevano trovarsi riunite tutte in uno stesso immobile, come ricorda una celebre canzone di Béranger[45]. Le piastrelle di gesso grossolano, piene, erano normalmente utilizzate fino al 1960, nella regione parigina, per i tramezzi; rivestimenti di gesso vi aggiungono di consueto ancora un centimetro e mezzo di spessore, secondo le tecniche correnti, mentre in provincia ci si sforza di limi-

[45] Si tratta della canzone *Les 5 étages*.

tare a un mezzo centimetro lo spessore del gesso, che è un costoso materiale di finitura – e viene del resto utilizzato secondo metodi differenti da quelli impiegati intorno a Parigi. Il muratore di questa regione, di norma, cola su una spessa forma di gesso i così detti "pagliacci" delle scalinate (la superficie delle quali è complessa e sghemba, come quella delle vele delle volte gotiche): egli può così limitarsi a sommarie casseforme di legno, seguendo da molto lontano la curva definitiva dell'intradosso della scalinata, che è colato su degli spessori notevoli di gesso, preparato in maniera tale da dare una superficie sghemba continua e gradevole da vedersi. È su questa forma di gesso – molto presto secca e dura – che viene colato il calcestruzzo. Si tratta di un procedimento del tutto normale in queste regioni. Fra altre possibili ipotesi, è dunque assai verosimile pensare che i muratori gotici dell'Ile-de-France, così ricca di materiali gessosi, si servissero del gesso per tutte quelle parti di volta dove era loro necessario alzare delle casseforme. In tal caso, la piattaforma provvisoria, sulla quale veniva colata la forma di gesso, poteva poggiare su elementi relativamente distanti, che avevano il ruolo di travature ed erano perciò riutilizzabili, non avendo più alcun bisogno di sposare esattamente le forme dell'intradosso, che erano invece date dal gesso.

I gotici conoscevano perfettamente le possibilità del gesso e lo usavano assai spesso negli interni. Nonostante la sua scarsa resistenza all'acqua, se ne servirono, talvolta, anche nella muratura per fare dei giunti, come nel caso dei cunei del rosone occidentale della cattedrale di Parigi, rifatto da Viollet le Duc, il quale fece notare la qualità eccellente di quel gesso[46].

Si può anche pensare, quando si conosce la tecnica ancora in uso oggigiorno in Francia delle "volte saracene", che i muratori gotici potessero evitare quasi completamente le centine nelle parti basse delle vele e ridurle al minimo nelle parti alte: ciò sarebbe diventato tanto più facile quanto più la rete delle nervature si fosse fatta stretta, come effettivamente divenne nel corso dell'evoluzione dello stile gotico. Per le parti intermedie (le più larghe) o terminali (le più orizzontali), i gotici potevano aiutarsi con piattaforme sospese alle armature. Essi poterono anche utilizzare dei sistemi come quello descritto da de Lassaux, architetto del re di Prussia, nel 1831, e ricordato da Fitchen[47]: delle corde zavorrate con grosse pietre che tengono ogni concio nel corso della sua posa. Questo sistema può effettivamente essere stato una delle "astuzie" impiegate dai gotici. Ogni maestro muratore, in effetti, doveva avere i propri "trucchi" personali, che si guardava bene dal rivelare ai concorrenti: "trucchi" di cui nessun libro conserva la traccia. Certi metodi erano copiati e si diffondevano attraverso l'Europa, mentre altri restavano confinati in certe regioni: è un fenomeno tipico di

[46] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, VII, p. 208.
[47] J. Fitchen, *op. cit.*, p. 180.

COSTRUZIONE DELLE VELE

Sistema di costruzione di una volta senza l'uso di centine: ipotesi di applicazione ad una volta gotica del sistema descritto dall'architetto De Lassaux e menzionato da Fitchen.

ogni tempo, tanto che se ne possono citare anche degli esempi contemporanei. Così negli anni Sessanta, si è visto apparire, nella costruzione francese, un ingegnoso sistema di fissazione provvisoria degli infissi delle porte, di cui si ignora l'inventore: ho visto questo sistema diffondersi in tutto il territorio della Loira e sulla costa atlantica: fino ad allora, in questa regione, gli infissi da utilizzare nelle pareti di mattoni cavi fatti col gesso venivano bloccati, in attesa che la costruzione delle pareti fosse ultimata, al soffitto, alla meno peggio, mediante dei pezzi di legno inchiodati ai montanti degli infissi e conficcati o spinti contro il soffitto nella misura del possibile; li si schiodava, poi, con precauzione, non appena si terminava di costruire la parete. Ma accadeva sovente che si urtasse e si spostasse l'infisso nel corso della costruzione, prima che il gessaiuolo avesse fatto il suo lavoro, e bisognava allora rimetterlo di nuovo a piombo e regolarlo ancora una volta.

Un operaio ingegnoso, rimasto anonimo, ebbe l'idea, un giorno, di sostituire questo sistema riccorrendo a due V, composte ognuna da due pezzi di legno messi di traverso, poggianti, su un'estremità, al soffitto e, sull'altra, nella scanalatura della traversa superiore dell'infisso; un semplice braccialetto di caucciù, tagliato in una vecchia camera d'aria e passato intorno alle estremità divaricate puntate sul soffitto, bastava ad assicurare una pressione efficace su quest'ultimo, garantendo all'infisso, in attesa che la parete fosse terminata, una stabilità molto superiore a quella permessa dagli antichi sistemi. Quando la parete arriva al livello del soffitto, si può, senza dover schiodare nulla e quindi senza rischio di scuotimento eccessivo, distaccare i braccialetti elastici e togliere i pezzi di legno messi come blocchi: poiché l'infisso è rimasto sigillato fra le due parti della parete bloccate dall'espansione dei giunti di gesso, non rimane che terminare la parete sopra la traversa. Un simile "trucco" improvvisato ha permesso un guadagno di tempo ed un miglioramento assai apprezzabili in questo particolare tipo di operazione.

Anche gli operai del Medioevo, allo stesso modo, dovevano escogitare ed applicare una certa quantità di procedimenti ingegnosi, talvolta limitati a certi aspetti della costruzione, soprattutto in materia di volte allo scopo di economizzare le strutture provvisorie.

Fitchen, parlando dei metodi per alzare le volte senza centine, menziona il sistema mediorientale di volte a botte con archetti di traverso, ma lo considera utilizzabile e utilizzato solamente per le fogne. Al contrario, come ha mostrato Hassan Fathy, questo metodo era impiegato ancora recentemente in Egitto per edifici di diverso tipo: abitazioni, moschee, magazzini... Non solo, ma esso deve essere stato utilizzato in molti altri paesi, come testimonia quell'edificio che io stesso ho osservato sull'Acropoli di Atene.

Quanto alla tecnica della volta "saracena", essa è basata sulle proprietà di resistenza delle superfici a doppia curvatura, nonché sull'utilizzazione del gesso,

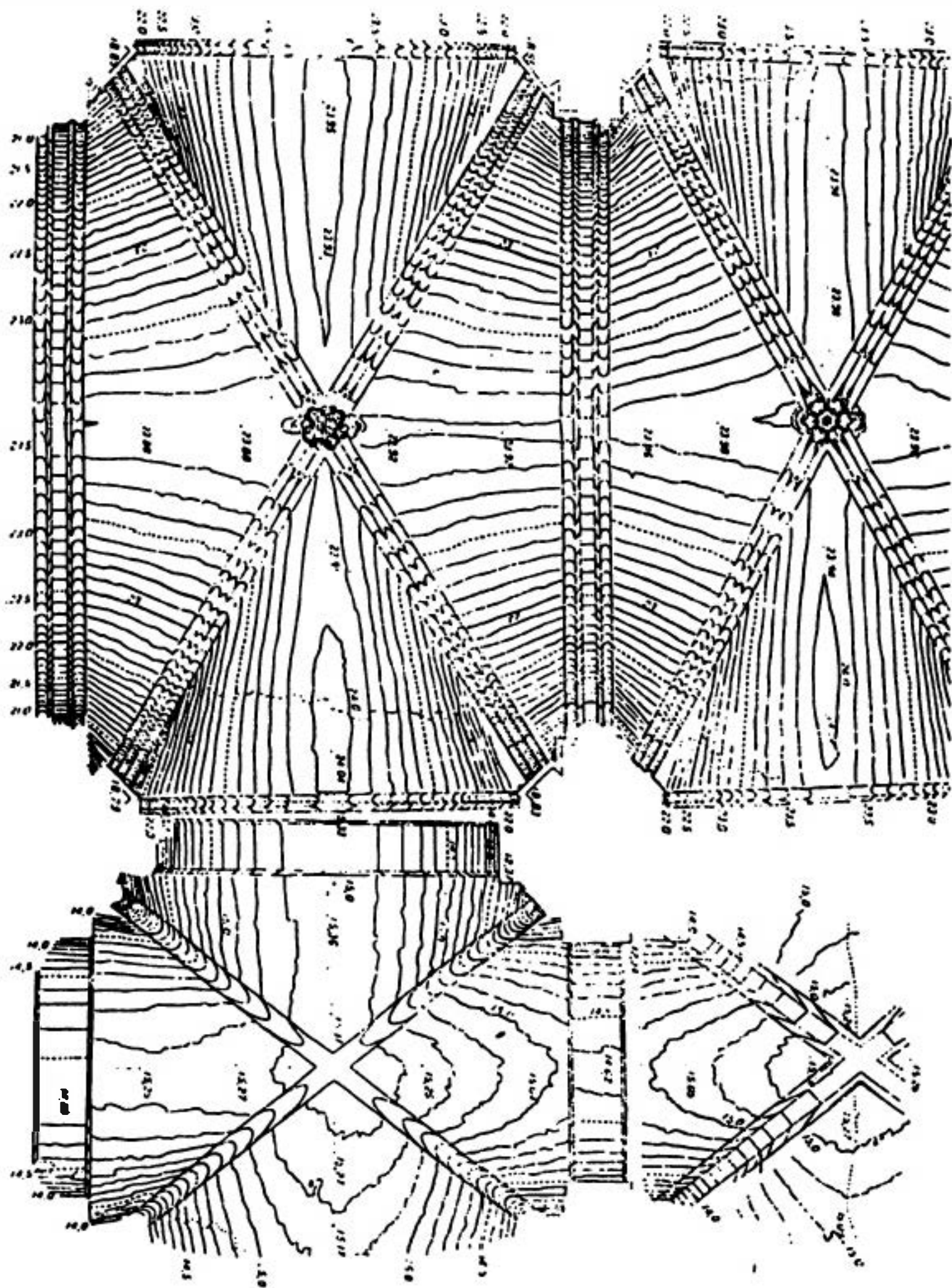
che ha il vantaggio di avere un tempo di asciugamento assai rapido. Mio padre aveva impiegato spesso questa tecnica fra il 1905 e il 1935; io stesso ho fatto costruire delle scale di immobili secondo il medesimo sistema, intorno al 1968. Ma, anche con della calcina, la tecnica di realizzare le volte mediante archetti successivi, in modo tale che ognuno si appoggi, da una parte, su due elementi formanti un angolo fra loro e, dall'altra parte, sullo strato precedente, poteva applicarsi anche ad elementi della volta che si appoggiassero sia gli uni sugli altri, sia nello stesso tempo – durante la costruzione – su nervature formanti, una con l'altra, un angolo acuto.

Volte simili erano non soltanto a doppia curvatura, in seguito alla leggera convessità che veniva loro attribuita, ma anche sghembe (tali, cioè, che il loro intradosso non era una superficie sviluppabile) a causa della sagoma delle nervature. Questa particolarità garantiva alle volte una resistenza supplementare, di cui i gotici dovevano rendersi conto, giacché essa permise loro di ridurre queste volte a degli spessori talora straordinariamente sottili. In alcuni casi, non vengono superati i quindici centimetri.

Così, sette o otto secoli prima che si sviluppasse la tecnica delle vele sottili a doppia curvatura e a superfici sghembe, i muratori gotici, condotti a realizzare simili superfici, constatarono e misero a profitto empiricamente le loro particolari proprietà di resistenza. "Quando, durante il Rinascimento, si diventerà esperti di geometria, si utilizzeranno superfici d'intradosso perfettamente regolari, di cui si sapranno allora determinare le esatte penetrazioni. L'avvento dell'architettura rinascimentale, dalla quale usciranno le architetture classiche, è caratterizzato dall'abbandono delle superfici sghembe"[48].

Soltanto con la costruzione in cemento armato e con la tecnica delle vele sottili si ritornerà, in architettura, all'uso, con tutto un altro spirito, delle superfici sghembe, ma tracciandole e calcolandole matematicamente e, soprattutto, utilizzando non solamente delle volte che lavorano alla compressione, ma anche delle vele armate capaci di sopportare sforzi di trazione: tutto ciò permetterà la creazione di veri e propri capolavori di arditezza e di leggerezza.

È probabile che, nel corso della costruzione delle volte gotiche, intervenissero due differenti categorie di esecutori; coloro che si occupavano delle pietre esattamente tagliate ed i muratori, forse meno qualificati, che erano incaricati principalmente di lavorare e di posare solo le pietre grossolanamente squadrate, come era il caso, in generale, delle vele: queste ultime, nelle volte gotiche, quando non sono intonacate, lasciano apparire frequentemente una disposizione incerta e goffa delle pietre, che sembra dover corrispondere ad un lavoro meno curato, fatto, verosimilmente, da una mano d'opera diversa da quella che operava sulle nervature: a conferma di questo, basta ricordare che le vele venivano

[48] P. Abraham, *op. cit.*, p. 59.

INCURVAMENTI E CONVESSITÀ

Si vedono, su questo disegno fotogrammetrico di una crociera ogivale gotica, gli incurvamenti e le convessità delle vele (di solito invisibili all'occhio), che contribuiscono alla stabilità e alla rigidità di questi gusci (doc. C.R.N.M.H).

generalmente intonacate e dipinte alla fine dei lavori, come si può vedere ancor oggi nella Sainte Chapelle a Parigi e nella maggior parte delle chiese gotiche di parecchi paesi.

In Inghilterra, gli operai capaci di tagliare la pietra (*hewers*) venivano distinti da coloro che erano incaricati solo della posa (*layers*). Per la Francia, non si è arrivati a dimostrare con certezza che esistessero qualificazioni differenti, oppure delle gerarchie fra i vari specialisti. Nei documenti troviamo numerose denominazioni: in latino *latomus* (chi si occupa delle pietre), *cementarius* (che cementa le pietre), *lapicida* o *caesor lapidum* o *talliator petrae* (tagliatore di pietre), *positor* o *cubitor* (posatore), in francese *asseyeur* (posatore), *mortelier* (chi fa la calcina), *maçon* (muratore) ecc.[49]. Comunque sia, esistevano necessariamente degli operai più o meno qualificati in ogni specialità ed è possibile che venissero attribuiti ai meno capaci dei lavori di muratura che erano comunque destinati ad essere nascosti da rivestimenti d'intonaco o da pitture; i semplici manovali, i "minuti operatori", infatti, erano solo, come ancor oggi, degli aiutanti, dei "garzoni" o degli apprendisti, talvolta anche degli uomini pii o dei benefattori che davano una mano nel lavoro come forma di prestazione in natura. Molte delle volte delle nostre cattedrali sono state private delle loro pitture, che erano di difficile conservazione e venivano per giunta condannate, in quei tempi, dai sostenitori dell'austerità nei materiali e nei colori (come san Bernardo), così come lo sono, ai nostri giorni, dagli esteti, amanti delle pietre nude: si possono quindi percepire, adesso, tutte le particolarità di costruzione di queste volte. Tali testimonianze delle difficoltà incontrate dall'operaio, talvolta con piccole goffaggini di dettaglio, portano nel quadro rigoroso e spoglio delle nervature gotiche un tocco commovente di umanità: si vede il muratore che va a tentoni, che cerca, che inventa e che se la sbroglia come può. Questi dettagli, che per lo più passano inavvertiti, sono minimi cenni del passato – proprio come quelle piccole furberie di esecuzione, quei piccoli "trucchi" pratici che Villard de Honnecourt annotava nel suo taccuino di cantiere.

Le proporzioni degli archi a sesto acuto

Se si ha la curiosità di cercare su un disegno l'altezza sotto la chiave, che corrisponderebbe all'intersezione, secondo due semicherchi, di due volte a botte perpendicolari, nel caso di una campata quadrata, si ricava, facendo l'esempio di una volta a botte di dieci metri di larghezza, un'altezza di sette metri e sette centimetri ($\sqrt{2}/2$).

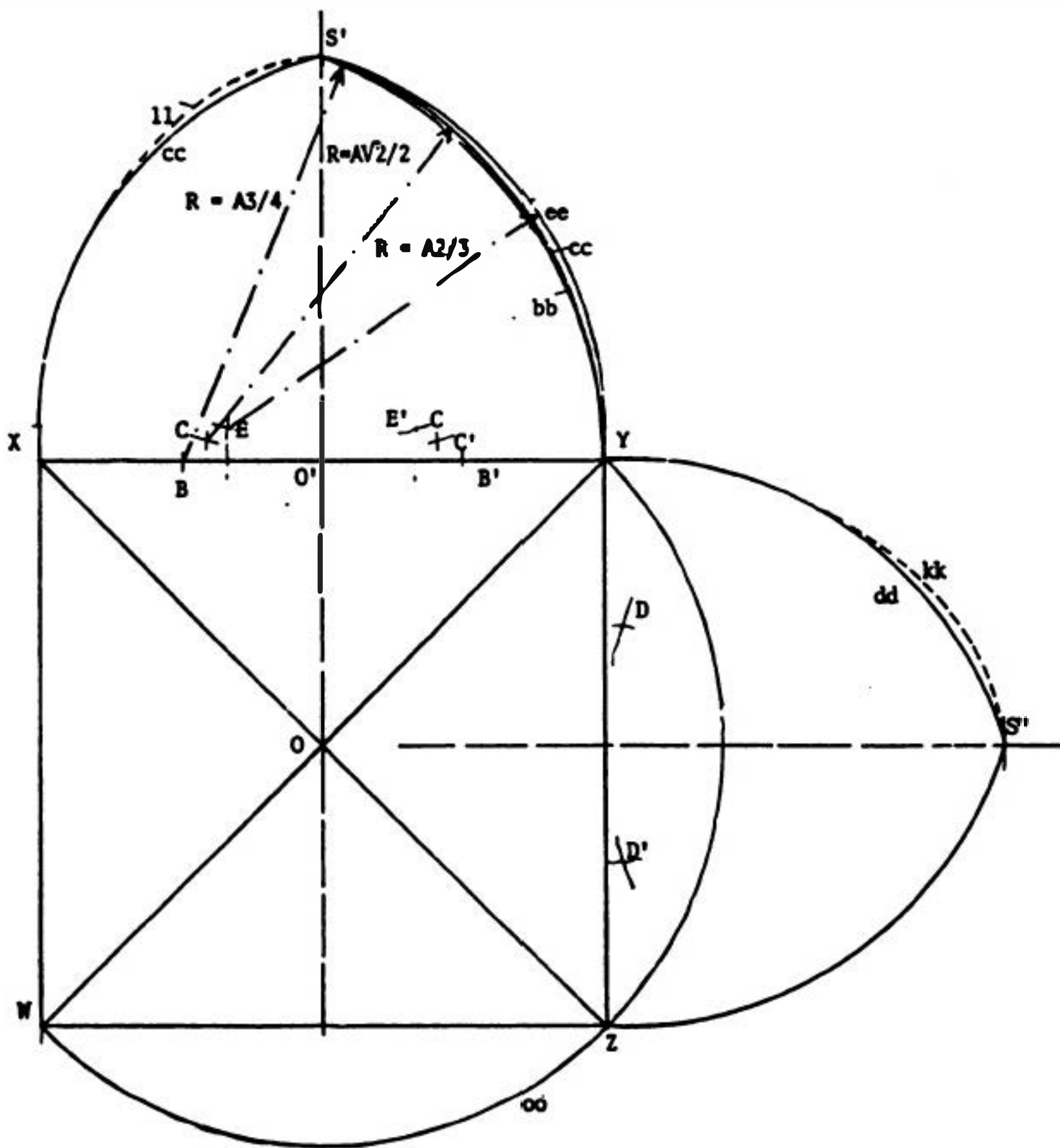
[49] P. du Colombier, *op. cit.*, p. 44-47.

Se si cerca, d'altra parte, la proporzione dell'arco a sesto acuto, avente come "diametro" il lato del quadrato e la stessa altezza dell'arco diagonale a tutto sesto, si vede che i suoi centri si troverebbero a metà distanza fra l'asse verticale e le estremità del diametro: il suo raggio è uguale ai tre quarti del lato del quadrato. Se si vuole un arco a sesto acuto il cui raggio sia identico a quello dei costoloni a tutto sesto formanti gli archi diagonali (cioè di raggio $\sqrt{2}/2$), bisognerà sopraelevare leggermente i centri avvicinandoli all'asse verticale. Ma in pratica, come si vede sul disegno (dove sono disegnati un arco a sesto acuto con i centri B e B' e di raggio 3/4, un arco a sesto acuto di raggio $\sqrt{2}/2$, i cui centri C e C' sono leggermente al di sopra della linea d'origine dell'arco, e infine un arco a sesto acuto i cui centri E e E' – sopraelevati allo stesso modo – dividono la "luce" in tre parti uguali – cioè uno di quegli archi che vengono spesso chiamati "a terzo punto"), i tracciati sovrapposti dei tre archi differiscono molto poco e quasi coincidono. Ciò spiega perché si possano facilmente utilizzare, per questo arco a sesto acuto, dei cunei standardizzati, tagliati secondo il raggio del semicerchio del costolone. Questo arco, conseguenza di una costruzione geometrica rispondente a un certo numero di imperativi, è chiaramente quello che venne adottato dai cistercensi: si tratta, insomma, della forma di arco a sesto acuto più prossima all'ellisse, cioè a quella curvatura secondo la quale bisognerebbe tracciare le volte a botte affinché la loro intersezione, nel caso di una campata quadrata, possa effettuarsi con rigore geometrico secondo dei perfetti semicerchi.

Non si vuole togliere poesia all'ispirazione dei costruttori gotici, né fare ingiuria al loro genio, se si osserva che ciò che alcuni chiamano "il grazioso profilo a terzo punto"[50] è precisamente la forma di arco semplice che meglio corrispondeva, nel caso in questione, agli imperativi funzionali.

A questo proposito, bisogna ricordare che la terminologia per definire i diversi tipi di arco a sesto acuto dà luogo ad alcune divergenze: certi autori ritengono che l'arco "a terzo punto" sia quello la cui base è divisa in tre segmenti, altri, invece, che si tratti dell'arco equilatero (i tre punti sarebbero allora le estremità del diametro e il vertice dell'arco). Viollet le Duc pensa che il termine debba designare ogni arco a sesto acuto, qualunque sia la sua proporzione[51]. Altri, infine, ritengono che quello che i gotici chiamavano "a terzo punto" fosse l'arco il cui diametro è diviso in quattro parti uguali da *tre punti* (i due centri e il punto di asse): è l'opinione che ho ricavato da un certo numero di indizi concordanti, nel corso di uno studio particolare che non ha a che fare con questo libro; esso mi ha portato a concludere che l'arco i cui centri dividono il diametro in tre segmenti (determinando, da un'estremità all'altra, sei divisioni, ognuna uguale alla

[50] R. Oursel, *op. cit.*, p. 428.
[51] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, I, p. 45.

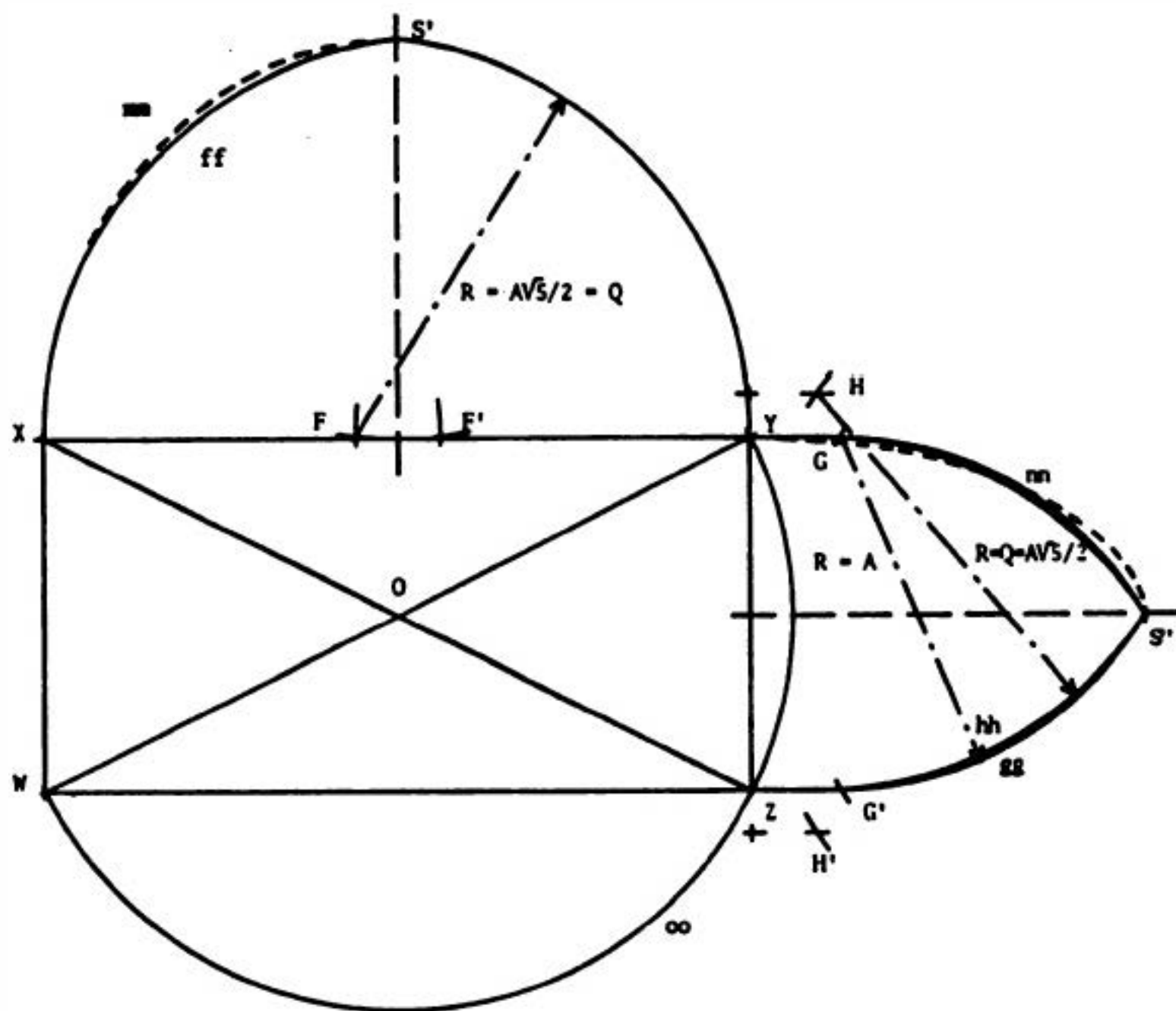
distanza che separa l'asse da ogni centro) dovrebbe normalmente avere il nome di arco "a quinto punto" (diametro diviso da cinque punti). Osserviamo anche che i differenti archi a sesto acuto, quasi indistinguibili nei tracciati che abbiamo descritto per la campata quadrata, hanno un profilo assai vicino a quello della "catenaria", cioè di quel tipo di curva che assume una catena o una corda flessibile, omogenea e a sezione uniforme, quando è lasciata pendere fra due supporti; essa è anche la curva di uguale resistenza di un arco che non porti che il suo proprio peso: la curva adottata è dunque assai vicina a quella che permette la massima economia di materiali quando la volta non deve portare delle sovrastrutture, come è il caso, appunto, delle volte gotiche, sulle quali non poggiavano né l'armatura né la copertura. La catenaria è una curva molto vicina all'ellisse: può essere tracciata in modo molto semplice su una parete verticale a partire da due punti, stabilendo la profondità che si vuole ottenere, senza che sia necessario cercare e materializzare i due fuochi, come si dovrebbe fare, invece, nel caso di una ellisse. I giardinieri sanno tracciare delle ellissi, a piatto e sul terreno, con l'aiuto di una corda, facendo scorrere una punta tracciante lungo la corda fissata ai due fuochi. Ma è una curva facile da tracciare in muratura: è più semplice, invece, una curva a catenaria; è sufficiente, in questo caso, lasciare pendere, da un punto di origine all'altro della volta progettata, lungo una parete, e con un'altezza uguale all'altezza della volta, una corda tinta di polvere colorata (come quella che impiegano oggigiorno i muratori e i gessaiuoli per "tirare" il livello su delle pareti o per tracciare degli allineamenti sul terreno). In seguito, tramite un riporto verticale delle lunghezze, mantenendo un'esatta simmetria rispetto alla linea orizzontale che collega i punti di origine, si può arrivare a disegnare la forma dell'arco sulla parte superiore della parete. Sarebbe anche possibile tracciare la curva, nel modo che abbiamo descritto, su un pannello verticale di legno, e poi capovolgerlo. Uno di questi procedimenti deve essere stato utilizzato da alcuni costruttori orientali, poiché le volte sassanidi, le volte dell'architettura popolare egiziana e quelle di diverse altre architetture del Medio Oriente sono tracciate secondo curve a catenaria. Ma da una parte, proprio come l'ellisse, questo profilo conviene meglio ad un'architettura basata sui mattoni o su pietrisco molto minuto che non a costruzioni fatte in pietre tagliate, giacché ogni singolo concio è diverso da quello vicino per tutta la lunghezza della curva: per i gotici una tale ragione sarebbe già stata sufficiente per eliminare queste curve. D'altra parte, le penetrazioni richiedono un trattamento molto delicato. In ultima analisi, era assai più comodo, per degli spiriti pratici e niente affatto preoccupati di realizzare delle curve geometricamente perfette, adottare molto semplicemente curve circolari tracciate direttamente tendendo la corda a partire da uno o da due punti di attacco: è il caso dell'arco a tutto sesto e dell'arco a sesto acuto.

DISEGNO DI UNA CAMPATA QUADRATA

A	*: Lato del quadrato WXYZ*
oo	*: Arco diagonale WY*
Q	*: Lunghezza del raggio di oo = A √2/2*
ll e kk	*: Ellissi, proiezioni di oo sui piani verticali dell'arco-forma laterale e dell'arco doppio trasversale*
bb	*: Arco a sesto acuto con centri B e B' e con raggio = A 3/4*
cc	*: Arco a sesto acuto con centri C e C' e con raggio = Q*
ee	*: Arco a sesto acuto con centri B e B' e con raggio = A 2/3*

Il carboncino, il gessetto, lo stiletto o la punta che servivano a tracciare le curve potevano allora venir attaccati direttamente alla corda. Sul muro *formeret* o sull'area che serviva a tracciare i cunei nella grandezza esatta, era molto facile materializzare direttamente il disegno. Questo sistema, inoltre, permetteva di ottenere delle curve semplici ed armoniose, un tipo di risultato, cioè, che non era sicuramente assente dalle preoccupazioni dei costruttori dell'epoca. Se si aggiunge che la curva ottenuta era assai vicina a quella che avrebbe garantito la massima economia di materiale, si può capire perché, in parte a causa di una scelta calcolata, in parte a seguito di una sorta di selezione naturale (era frequente, infatti, in epoca gotica, che le volte crollassero e dovessero essere ricostruite tenendo conto delle esperienze precedenti), gli archi a sesto acuto (e in particolare quelli più vicini alla forma dell'arco chiamato di solito "terzo punto") siano entrati nell'uso generale già prima dell'epoca detta "gotica" e siano poi stati impiegati sistematicamente nel corso di questo periodo.

La proporzione dell'arco a sesto acuto corrispondente alla crociera ogivale a pianta quadrata è quella che è stata correntemente adottata dai Cistercensi: la si può vedere, ad esempio, nella sua bella semplicità, nell'abbazia di Sylvacane, dove l'incrocio della navata col transetto, entrambi coperti da volte a botte ritmate da archi doppi trasversali ad ogni campata, è caratterizzato da una crociera ogivale con nervature composte da tre tori. Ma la continuità della navata è interrotta dalla sopraelevazione della volta della crociera rispetto agli archi trasversali, i quali sono così sormontati da parti di muro limitate da due archi a sesto acuto sovrapposti, di medesima forma e di medesima dimensione. Si intravedono in queste pareti, sopra il livello mediano della volta, due buchi, che sono probabilmente quelli nei quali poggiavano le travi destinate a reggere le centine della parte superiore della crociera ogivale: la loro collocazione segna bene il limite fino al quale i costruttori potevano alzare in equilibrio le parti inferiori della volta, riducendo così al minimo la costruzione dell'armatura provvisoria indispensabile per la parte superiore: è questo limite che si individua chiaramente in certi edifici caduti in rovina.

Abbiamo visto, nel caso della campata a pianta quadrata, come i gotici riuscissero a pervenire alla normalizzazione delle curve per standardizzare le centine e semplificare la preparazione dei cunei delle varie nervature, in particolare allo scopo di permettere la prefabbricazione e ridurre i trasporti. Nel caso della crociera ogivale a pianta rettangolare – chiamata anche quadripartita – (la quale, in maniera più razionale che non la volta esapartita poggiante su pilastri alternati, permetteva di garantire alla navata principale, grazie a delle campate rettangolari, un'ampiezza molto più grande rispetto alle navate laterali, nel quadro di un unico sistema di campate) si possono fare delle constatazioni analoghe. Se si considera, ad esempio, una campata di navata con proporzione, su pianta, di due a uno, un arco-forma laterale, tracciato con delle curve di uguale raggio rispetto

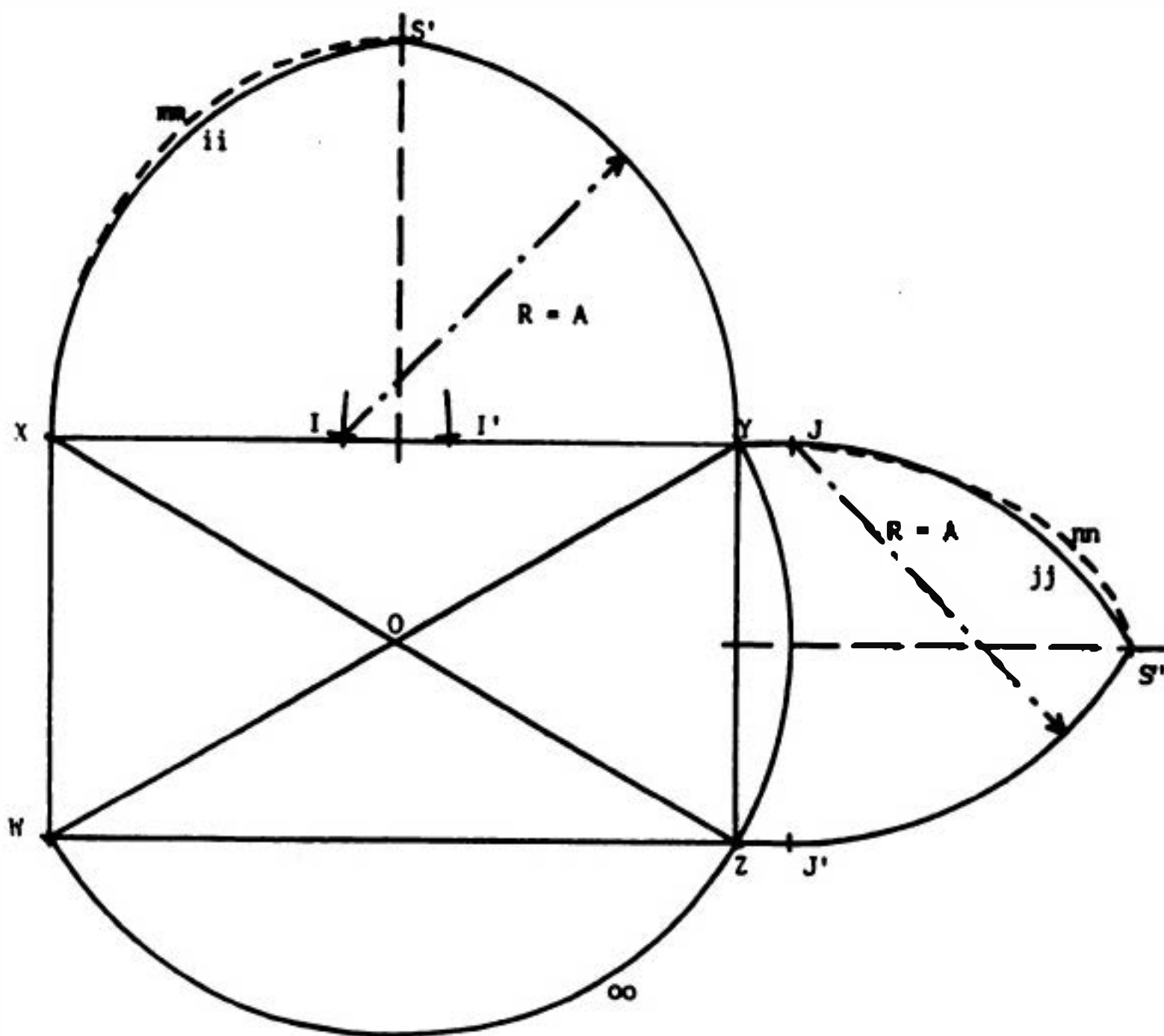
all'arco diagonale (cioè al costolone a tutto sesto), dovrà avere i suoi centri sopraelevati di circa 1/6, affinché la sua chiave possa venire a trovarsi alla stessa altezza rispetto alla chiave della crociera ogivale; ciò corrisponde, in effetti, agli archi a sesto acuto sopraelevati che si trovano nel gotico del XIII secolo, dove non soltanto i primi cunei circolari, ma molti strati di pietre sono spesso orizzontali alla base dell'arco. Questa curva, d'altronde, è ancora più vicina all'ellisse teorica (alla quale dovrebbe portare l'esatta sezione corrispondente alla crociera) di quanto non lo sarebbe un arco a sesto acuto più sottile, i cui centri fossero sulla linea delle origini. E se si cerca la proporzione dell'arco a sesto

DISEGNO DI UNA CAMPATA RETTANGOLARE DI PROPORZIONE 2/1

A : *Lunghezza del lato minore del rettangolo WXYZ*
oo : *Arco diagonale ribassato WY*
Q : *Lunghezza del raggio di oo (semidiagonale)*
mm e nn: *Ellissi, proiezioni di oo sui piani verticali dell'arco doppio e dell'arco-forma*
ff : *Arco a sesto acuto con centri F e F', con raggio uguale a quello di oo (raggio = OY) e con vertice S'*
gg : *Arco a sesto acuto equilatero con centri G e G', vertice S'' e raggio = A*
hh : *Arco a sesto acuto con centri H e H', vertice S'' e raggio uguale a quello di oo (raggio = Q)*

acuto più vicina a questa curva, si trova chiaramente, questa volta, l'arco equilatero. Tale proporzione, del resto, corrisponde esattamente, se si vuole avere per l'arco-forma lo stesso raggio dell'arco formato dall'ogiva del costolone, ad una campata con proporzione di $\sqrt{3}$ a uno, cioè ad un rettangolo basato su due triangoli equilateri opposti per il vertice. Si tratta, effettivamente, di una proporzione molto frequente: si sa che i gotici utilizzavano assai spesso delle costruzioni su una base di triangoli equilateri – una scelta abbastanza naturale, poiché il loro principale strumento di lavoro e di riproduzione era il compasso. Si può pensare, d'altronde, che i gotici, quando non avevano da riutilizzare delle sottostrutture esistenti, scegliessero per le campate delle dimensioni che permettessero di ottenere proporzioni semplici ed armoniche per i vari archi e favorissero, nel contempo, la desiderata standardizzazione. Ciò poteva anche condurli ad abbandonare il disegno a tutto sesto per quello a sesto acuto: in effetti, essi lo fecero a Chartres ed a Reims, soprattutto dopo il XIII secolo, nelle campate rettangolari, dove altrimenti gli archi doppi trasversali avrebbero avuto una proporzione troppo appiattita. Per ciò che concerne l'arco doppio trasversale, infatti, se esso è realizzato su centine aventi una medesima curva, è assai poco distinto nella campata rettangolare con proporzione di due a cinque, sopraelevata a tutto sesto: si possono, anche in tal caso, utilizzare centine e cunei standardizzati. E nel caso in cui la campata rettangolare sia un po' più vicina alla forma quadrata ($\sqrt{3}$ ad uno, per fare un esempio), si può ancora trovare facilmente un arco a sesto acuto, evidentemente molto appiattito, avente il medesimo raggio del costolone (cioè dell'ogiva, dell'arco diagonale). Inoltre, lo spessore della nervatura dell'arco trasversale (quando esso esiste, poiché non sempre è previsto nelle piante rettangolari) permette di "giocare" in rapporto alla volta medesima.

Si constata, così, per ciò che riguarda l'arco-forma laterale, che l'arco a sesto acuto semplice, risultante normalmente da una pianta rettangolare con proporzione di due a uno oppure un poco più quadrata, è un arco equilatero, e, nel caso di una proporzione $\sqrt{3}$ a uno, è l'esatta forma risultante.

Ora, si può constatare che questa forma ha conosciuto, a un certo momento, uno sviluppo tale da stupire molti autori. "A partire dalla metà del XIII secolo, la forma normale è l'ogiva equilatera, dove il centro si trova sulla linea a piombo dei piedritti". Questa osservazione di Choisy[52] era già stata fatta da Viollet le Duc il quale, parlando dell'arco a sesto acuto (che egli impropriamente chiama "ogiva"), afferma che la ragione di una tale proporzione "equilatera" sarebbe di ordine puramente estetico. "In quelle belle scuole dell'Ile-de-France, della Champagne e della regione di Soissons, degli architetti, persone di gusto, avevano capito che il massimo d'acutezza dell'ogiva era dato dall'arco

[52] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 432.

DISEGNO DI UNA CAMPATA RETTANGOLARE DI PROPORZIONE √3/1

(costruita su 2 triangoli equilateri)

A : *Lunghezza del lato minore del rettangolo WXYZ*

oo : *Arco diagonale ribassato con raggio OY = A*

mm e nn: *Ellissi, proiezioni di oo sui piani verticali dell'arco-forma e dell'arco trasversale*

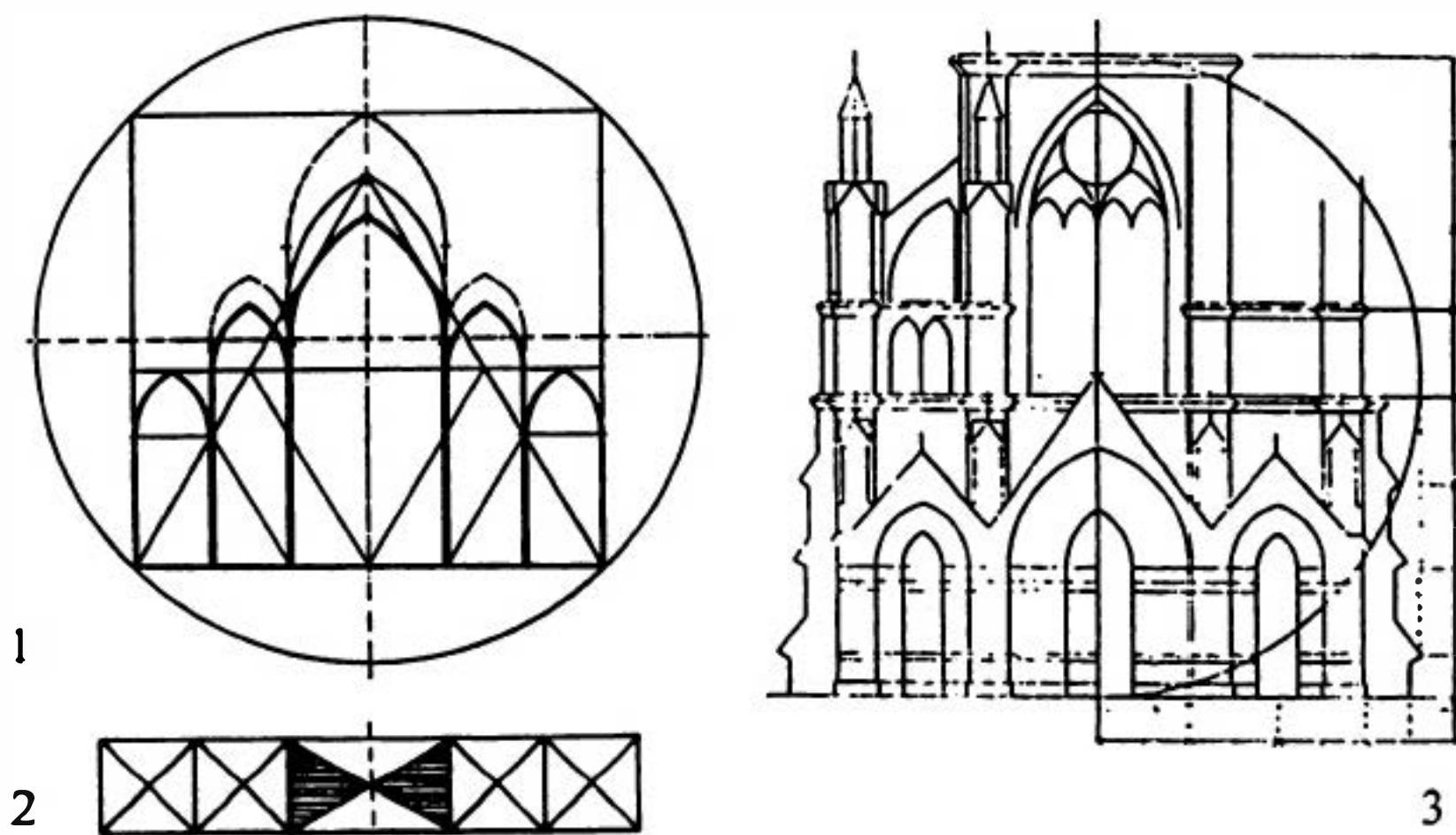
ii : *Arco a sesto acuto con centri I e I', raggio uguale a quello di oo e vertice S'*

jj : *Arco a sesto acuto equilatero con centri J e J', raggio uguale a quello di oo e vertice S'*

equilatero, che i centri delle braccia collocati al di fuori delle origini dell'arco davano una forma la cui estrema acutezza era sorprendente..."[53].

Così è stato osservato che molte delle volte e molti degli archi a sesto acuto erano tracciati sulla base di un triangolo equilatero; si è sovente attribuita questa particolarità a motivi esoterici o simbolici, come nel caso di altri tracciati geometrici di quell'epoca: evocazione della Santa Trinità, Triangolo Massonico, ecc. È verosimile che gli architetti gotici abbiano talora giustificato la

[53] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, VI, p. 444.

loro scelta con ragioni simili, quando tracciavano questi triangoli, facili da riprodurre e da ingrandire. In ogni epoca, gli architetti si sono sforzati di trovare – spesso dopo aver effettuato le costruzioni – delle motivazioni diverse da quelle di ordine plastico o tecnico alle loro scelte: fra altri vantaggi, ciò permette di eludere la discussione intorno a criteri di gusto o di estetica; quanto alle ragioni puramente pratiche, con una sorta di civetteria del tutto fuori posto ma assai frequente, esse sembrano talvolta troppo terra terra perché le si possa invocare... È un tentativo di oggettivare le scelte e di sottrarle così alle critiche: è, in qualche misura, una "razionalizzazione delle scelte estetiche". Ma, adottando dei rapporti e delle strutture basate su semplici figure geometriche, gli architetti gotici, che erano degli uomini pratici, cercavano prima di tutto di semplificare i tracciati e di garantirsi che la loro concezione sarebbe stata fedelmente riprodotta nella fase esecutiva.

TRACCIATI E SCHEMI GEOMETRICI

In questa figura abbiamo messo a confronto lo spaccato (1) delle diverse sezioni trasversali proposte per la cattedrale di Milano (secondo du Colombier) con la pianta (2) di una campata della medesima cattedrale (secondo Choisy). Si osserva lo sfruttamento sistematico del triangolo equilatero, fra tutte la figura più semplice da tracciare con la corda. La figura 3 rappresenta (secondo Choisy) la ricostituzione del tracciato della cattedrale di Reims, sulla base del "palinsesto di Reims". Si può constatare, per la cattedrale di Milano, che le figure non coincidono con la costruzione, come è disegnata da Choisy (2 triangoli equilateri opposti per il vertice della navata, dei quadrati nelle navate laterali) e che non si ottengono le medesime proporzioni (noi siamo partiti dalla larghezza della navata): ciò rivela l'approssimazione di queste ricostituzioni, che in particolare non tengono conto degli spessori.

È stato osservato che è molto raro che le piante del Medioevo siano numerate. Una delle preoccupazioni degli architetti dell'epoca, di fronte alla varietà e alla mancanza di precisione delle unità di misura allora adottate, era evidentemente di far sì che i loro disegni fossero rispettati facilmente ed esattamente: potevano riuscirvi, appunto, mediante dei tracciati facili da copiare e da ingrandire.

Per questo motivo si arrivò a quei precisi tracciati geometrici che si possono osservare in diverse cattedrali gotiche. "Vi sono numerose prove, sotto forma di precisi riscontri, che almeno i più semplici sistemi di proporzioni geometriche dovettero essere impiegati in modo cosciente e deliberato"[54]. Se la Sezione Aurea appare così sovente nelle proporzioni degli edifici gotici, non è semplicemente per superstizione o per tradizione: è perché questa serie (con rapporto medio fra i due termini di 1/1,618) presenta la proprietà di generare indefinitamente la medesima proporzione. La serie di Fibonacci (5-8-13-21-34-55-89-144), che le si avvicina, può essere messa in opera facilmente per mezzo di un semplice tratto di compasso o di corda. Gli architetti dell'epoca, ad ogni modo, non potevano evitare di usare il sistema delle proporzioni e dei tracciati regolatori, poiché le misure variavano non soltanto da una provincia all'altra, ma talvolta addirittura da una città all'altra. Gli architetti del Medioevo, però, viaggiavano molto – in qualità di costruttori e in qualità di esperti – e se pure esisteva il latino come lingua comune per facilitare gli scambi, non esisteva un metro campione, come unità di misura internazionale.

Quando il Capitolo, che aveva l'incarico di realizzare la cattedrale, arrivava a disporre dei fondi capaci di permettere al cantiere la ripresa dell'attività, dopo un'interruzione più o meno lunga della costruzione, il rappresentante del Capitolo dava al maestro che aveva scelto le sue istruzioni e concordava insieme a lui le condizioni del lavoro. La sola direttiva intangibile che venisse data, scrive John James (questo architetto australiano che ha studiato minuziosamente per anni, pietra per pietra, la cattedrale di Chartres), sembra fosse quella di "rispettare l'unità dell'architettura interna: al di fuori di questa limitazione, ogni maestro sembra aver goduto della più ampia libertà possibile nel prendere le sue decisioni".

Ogni maestro aveva il suo proprio gruppo e la sua propria tradizione, le sue abitudini, i suoi strumenti e, in particolare, i suoi sistemi di misura. È stato possibile distinguere, infatti, nel corso della costruzione della cattedrale di Chartres, l'adozione di almeno otto sistemi di misura differenti, fondati sopra: il piede romano, il piede olimpico, il piede sumero, il piede teutonico, il piede cretese, il piede inglese e il piede punico. Ciò spiega le leggere differenze che si riscontrano anche in una stessa costruzione[55], differenze che forse contribui-

[54] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 53.

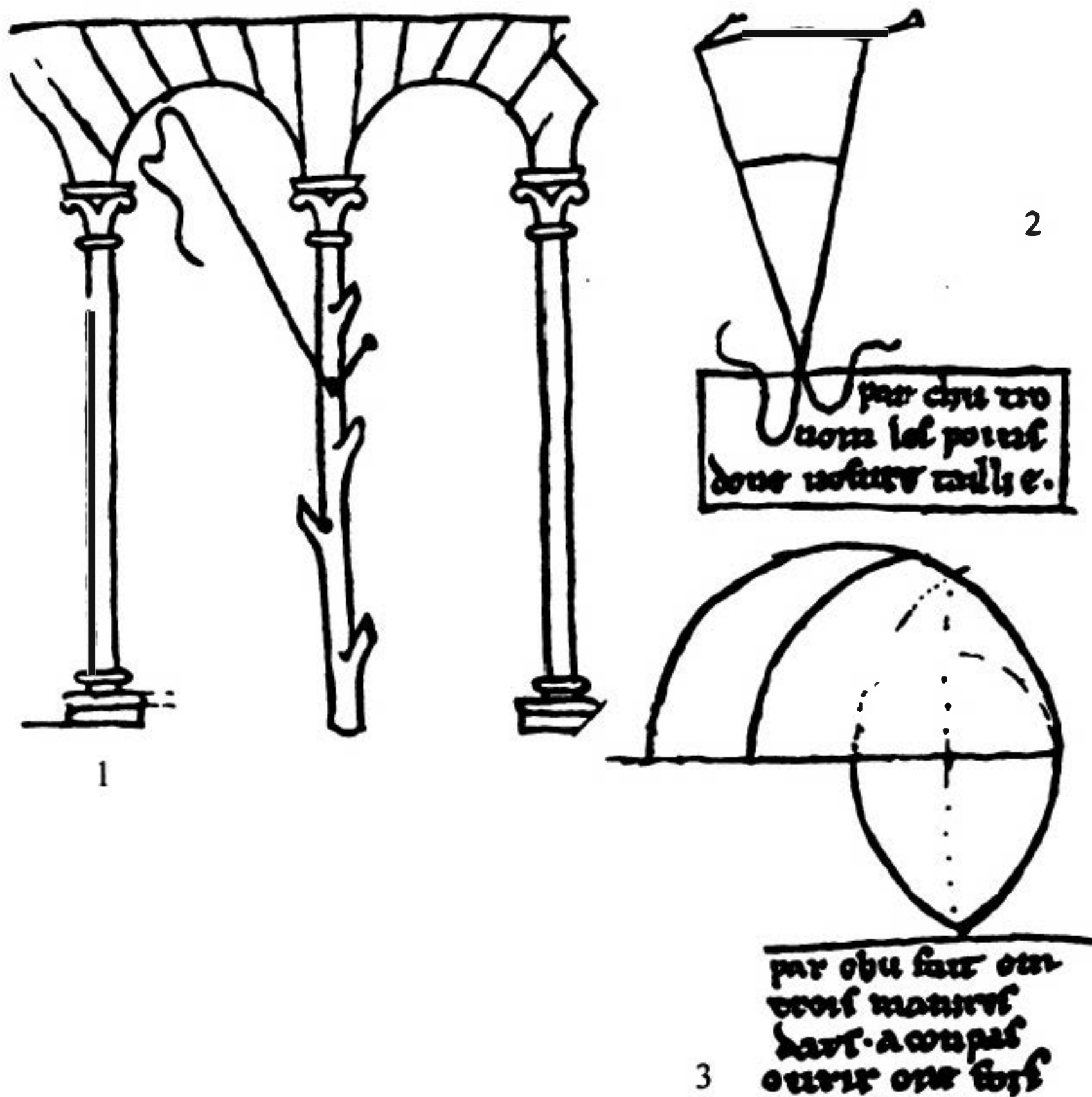
[55] J. James, *op. cit.*, II, p. 21.

scono al fascino che deriva da una così ampia varietà di dettagli entro l'unità dell'insieme.

Si può immaginare che, quando il rappresentante del Capitolo dava le sue istruzioni e trasmetteva le direttive al maestro, quest'ultimo non potesse non fargli osservare che utilizzava le sue proprie unità di misura: "D'accordo!", gli rispondeva allora il canonico, "prendi il tuo piede!". È così che questa espressione avrebbe assunto il significato di "agire liberamente, secondo la propria discrezione". Con essa, infatti, si permetteva, nello stesso tempo, di assumere l'iniziativa e di avere la libertà nel proprio lavoro, poiché "prendere il proprio piede", per continuare l'opera iniziata dai predecessori, comportava tutta una serie di piccole variazioni nell'esecuzione e si accompagnava con una tendenza a personalizzare vari dettagli della costruzione – mensole, capitelli, apparecchiatura e trattamento delle pietre, elementi decorativi, ecc. – che le minuziose analisi svolte a Chartres hanno permesso di scoprire e di classificare in modo sistematico. Si tratta, insomma, di un antico modo di dire il cui significato originale, oggigiorno, si è ormai perduto, a causa della generalizzazione del sistema metrico e dopo che, nel corso dei secoli, è venuta sviluppandosi una progressiva uniformità delle misure, in seguito alle disposizioni centralizzatrici prese dapprima dai re di Francia (che si sforzarono di sostituire il "piede del re" a tutti gli altri sistemi precedentemente adoperati) e poi dalla Rivoluzione Francese, che offrì, per la prima volta, l'esempio dell'adozione del sistema metrico.

Abbiamo visto che l'arco a sesto acuto equilatero corrisponde particolarmente bene al caso di una crociera ogivale con pianta rettangolare. Questa è forse una ragione essenziale della sua generalizzazione, ma questo arco presenta anche degli altri vantaggi, in particolare nella messa in opera: quando si tratta di collocare e di verificare la sagoma curva di una centina, oppure di "rifinire" un arco o una volta nel cantiere, oppure ancora di tagliarne e di aggiustarne i cunei, stesi per terra nella loro futura posizione, è difficile e scomodo far sì che il centro della sagoma curva si venga a trovare all'esterno dell'arco: come si può riuscire, infatti, a piantare e tirare la corda attraverso la pietra? Bisogna che questo centro sia all'interno e, se possibile, in un punto facile da materializzare, da dove sia possibile, senza impedimenti e senza ostacoli, tendere la corda fino a toccare tutti i punti della superficie. Il sistema più pratico è evidentemente quello di piantare solidamente alla base della volta un chiodo, al quale potrà essere attaccata la corda. Questo è ancora più semplice che non mettere il chiodo nell'asse della volta, come nel caso di un arco a tutto sesto; se poi si devono mettere due chiodi, come nel caso di un arco a sesto acuto più largo, si è obbligati a disporre di un punto fisso su un'impalcatura, cosa che giustamente si cerca spesso di evitare nella costruzione. Dietro questi fatti, insomma, si può dunque trovare una ragione complementare dell'adozione dell'arco a sesto

acuto e, in particolare, uno dei motivi della generalizzazione dell'arco "equilatero".

L'utilizzazione di una corda per segnare i tracciati, nonché la preoccupazione degli architetti gotici (come dei costruttori di tutti i tempi) di collocarla in una posizione pratica e facilmente maneggevole, è dimostrata da uno dei disegni di Villard de Honnecourt, che spiega come tracciare i cunei di una coppia di archi con capitello intermedio sospeso: vi si vede un supporto provvisorio – che è un tronco d'albero appena diramato, corrispondente a ciò che oggi sarebbe un pun-

UTILIZZAZIONE DELLA CORDA

1) Per tracciare dei raggi a partire da un centro su una coppia di archi sospesi

2) Per determinare, inversamente, un centro a partire da un cuneo di arco

3) Tracciato di tre diversi archi con il medesimo raggio

Estratti dalle tavole XXXIX e XL di Villard de Honnecourt.

tone di impalcatura – sul quale è stata piantata la corda che, rimanendo fissa in questo centro, serve a disegnare gli strati a raggiera dei cunei.

Uno dei vantaggi essenziali dell'arco a sesto acuto, tuttavia, era di permettere – e ne abbiamo visto l'importanza – di tracciare molti tipi di archi a sesto acuto con dei cerchi identici: per questo motivo, i gotici non hanno mai evitato, quando era utile, di collocare i centri là dove era necessario per realizzare i loro progetti. L'arco a sesto acuto che si trova nell'architettura cistercense del XII secolo è quindi più prossimo che non l'arco a sesto acuto equilatero all'ellisse, che corrisponde geometricamente, per la sezione verticale delle volte a botte intersecanti, ai cerchi, adottati per il tracciato degli archi diagonali con il sistema della crociera ogivale a pianta quadrata. Solo nel corso del tempo i gotici si resero conto di tutte le possibilità e di tutti i vantaggi degli elementi che essi stessi avevano adottato e acquisirono, a poco a poco, una maggiore libertà nella loro utilizzazione.

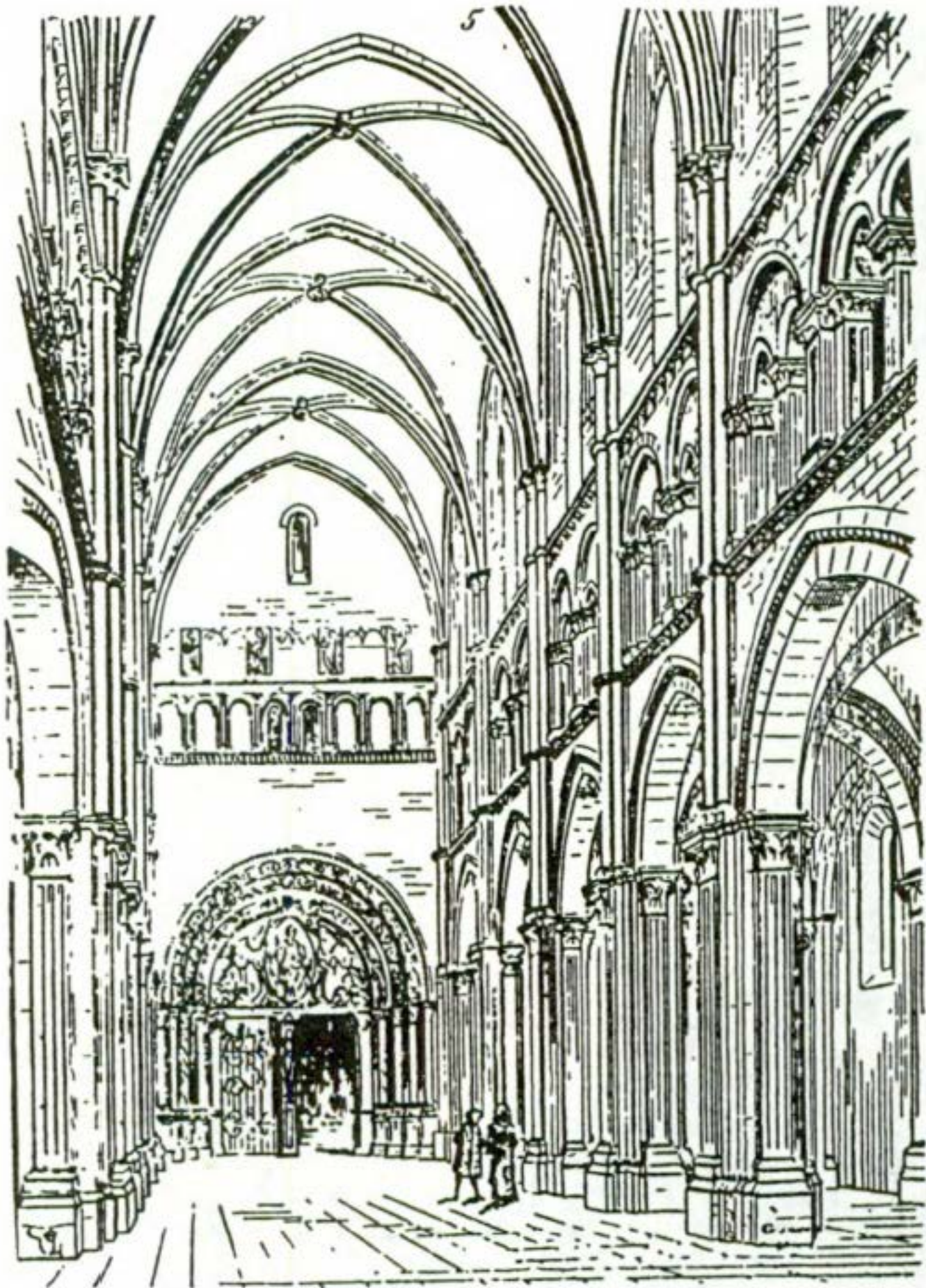
Ad ogni modo, la proporzione degli archi a sesto acuto veniva forzatamente adattata ad ogni eventualità: ad esempio, nel caso di archi concentrici, come se ne vedono sovente sopra dei portali, ogni arco successivo viene ad essere di proporzione differente, poiché, per definizione, gli archi hanno i medesimi centri, pur avendo altezze diverse.

Una tipologia delle volte gotiche, che fosse basata su osservazioni sistematiche e che venisse disposta su una tavola comparativa, permetterebbe di fare apparire delle correlazioni e dovrebbe condurre a delle conclusioni interessanti su numerosi argomenti. Si è cominciato, grazie alla fotogrammetria, a stabilire dei rilievi sistematici e precisi, che già rivelano fatti molto interessanti, in particolare per quel che concerne le curvature e le convessità delle vele. Vi è, su questo terreno, tutto un vasto ambito di ricerca, nel quale i metodi dell'informatica dovrebbero apportare un contributo prezioso e che sarebbe appassionante affrontare, studiando la Francia e l'Europa gotiche.

Gli archi rampanti

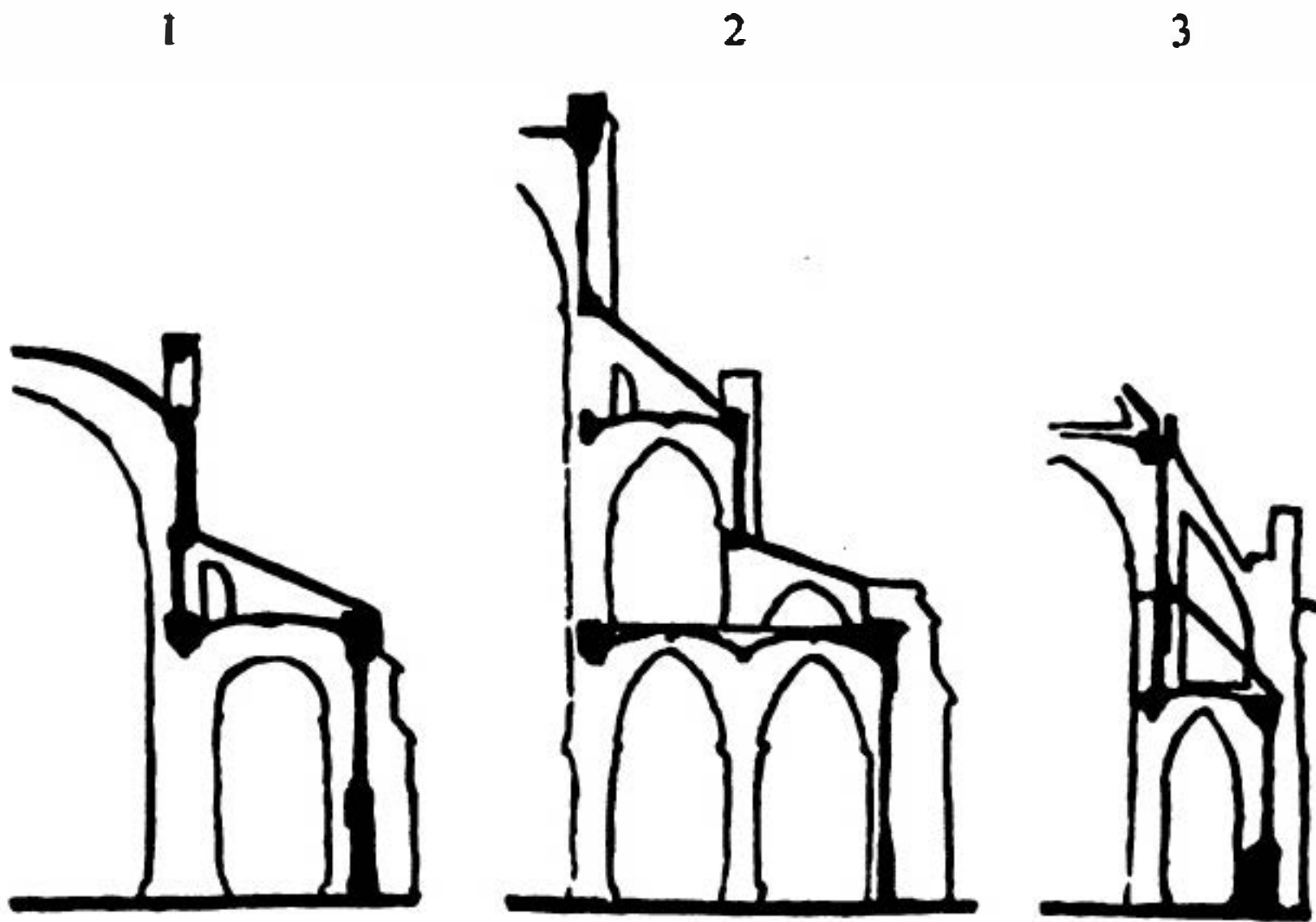
Abbiamo dovuto esaminare i differenti problemi dell'architettura gotica per mostrare come la sua nascita e la sua evoluzione si spieghino in base alla combinazione e alle interferenze di motivazioni e ragioni di ogni natura, strettamente legate alle congiunture particolari dell'epoca; i problemi tecnici sono degli elementi in mezzo ad altri: essi devono essere esaminati dal punto di vista pratico, tentando di ricollocarsi nel quadro delle condizioni del tempo. L'architettura è una risposta a problemi precisi, una risposta che, a seconda dei mezzi a disposizione dei costruttori, potrà utilizzare differenti soluzioni. Cercheremo pertanto di esaminare ancora qualche altro motivo importante dell'architettura

gotica: l'arco rampante, in particolare, ne costituisce un elemento assai particolare ed originale.

Abbiamo già visto che, grazie al sistema della volta a crociera, i costruttori possono accumulare le tensioni su punti separati, in mezzo ai quali diventa possibile inserire delle vaste aperture, a scopo di illuminazione, nei muri esterni: rimane, però, da puntellare le forze così concentrate. Torniamo all'esempio della scala. Se le due parti di una scala doppia sono molto ravvicinate, abbiamo visto che la spinta alla base della scala sarà minore di quanto non lo sarebbe se i piedi fossero più distanti; ma uno sforzo decentrato (ad esempio, se chi usa la scala si

Nartece della chiesa di Cluny, costruita nel 1220 da Rolando I: l'altezza sotto la chiave è di 33 metri; non vi sono archi rampanti e le navate laterali di sostegno hanno mezze volte a botte (disegno di Viollet le Duc).

tiene troppo indietro rispetto alla linea a piombo della parte di scala per la quale sta salendo) potrà assai più facilmente far ribaltare la scala. Se i piedi, al contrario, sono molto distanti (ma tenuti fermi, ovviamente, da puntelli o da un tirante), sarà impossibile che la scala si ribalti, essendo maggiore il sostegno della base di appoggio.

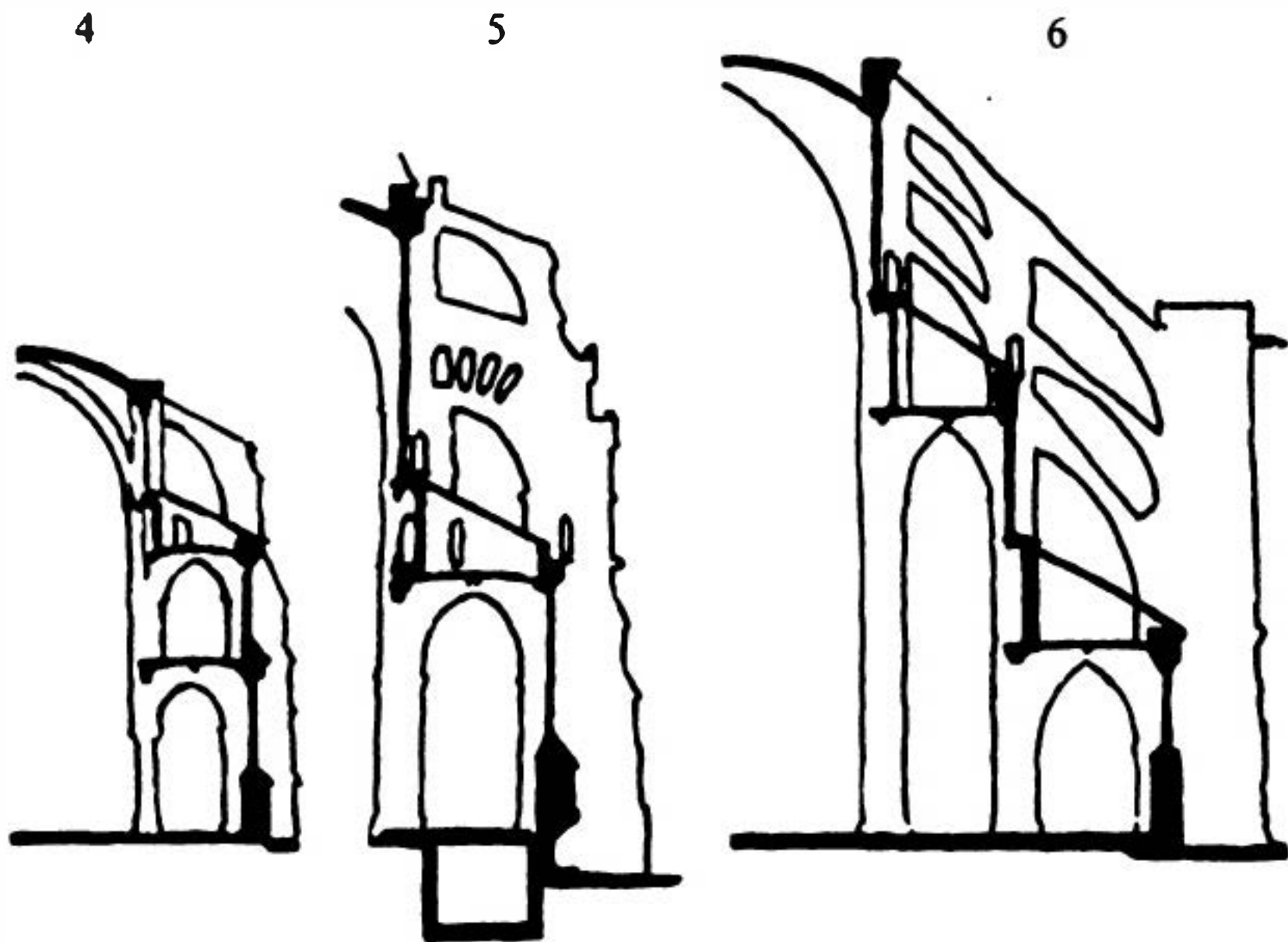
Lo stesso discorso vale per le volte: nello stesso momento in cui i gotici, per ridurre le spinte, accentuavano lo slanciamento, adottando l'arco a sesto acuto in luogo di quello a tutto sesto, essi erano obbligati ad aumentare il sostegno dei loro puntelli e quindi a sostituire i contrafforti, che sarebbero dovuti essere enormi a causa dell'altezza crescente a cui erano collocate le volte, con un dispositivo suscettibile di garantire la stabilità, senza eccessivo dispendio di pietre: gli archi rampanti.

L'arco rampante ideato dai gotici è un semiarco (disposto come una scala semplice contro un muro) che è in qualche modo appoggiato contro la base o contro la parte mediana di una volta. La sua spinta viene così ad opporsi a quella della volta. Ma l'arco rampante non ha senso se non contro una volta le cui spinte siano concentrate su punti spaziati: a questa definizione, in effetti, risponde la volta a crociera. I romanici avevano perfettamente sentito la necessità di puntellare le volte delle navate principali il più in alto possibile: la conclu-

L'ARCO RAMPANTE: DIFFERENTI FORME

1) Navata di Sens
2) Navata di Notre-Dame di Parigi
3) Navata di Dol

sione logica dei loro tentativi fu la soluzione cluniacense di coprire le navate laterali con semivolte a botte, tali da opporsi alla spinta delle volte a botte della navata principale; la navata di Cluny, con questo sistema, può raggiungere delle dimensioni analoghe a quelle delle cattedrali gotiche.

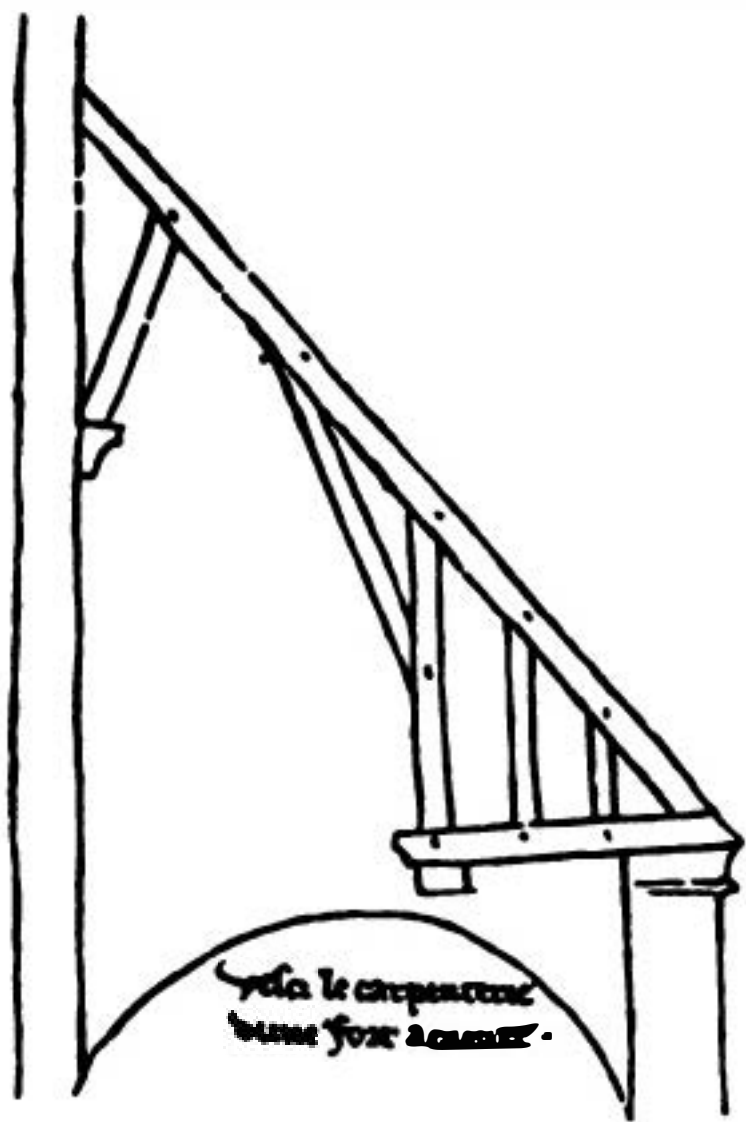
Ma il problema che allora si presentava, e che non si riusciva a risolvere in modo soddisfacente, era quello della spinta continua lungo le volte a botte, poco compatibile con delle aperture d'illuminazione che, in effetti, non potevano più esistere se non nei muri delle navate laterali, dove creavano problemi per i contrafforti, i quali dovevano essere disposti molto vicini l'uno all'altro per poter ricevere le spinte continue.

La spinta dell'arco che preme su un contrafforte viene ricevuta nella parte superiore di esso (purché l'arco non abbia un "tirante"). Se questa spinta è troppo intensa perché, tenuto conto del peso proprio del contrafforte, la risultante delle forze in gioco venga a cadere nella parte centrale della base del contrafforte, solamente una parte di questa base risulterà compressa: il contrafforte rischierà allora di spostarsi, se tale ridotta superficie non sarà in grado di offrire una resistenza corrispondente ai pesi da sopportare. Se invece la risultante cade al di fuori della base, il contrafforte tenderà a ribaltarsi. Più il contrafforte sarà ele-

4) Navata di Laon
5) Navata di Chartres
6) Coro di Bourges

vato (cioè più le volte saranno collocate in alto), più la sua stabilità sarà difficile da assicurare; al contrario, più sarà allungato nel senso della spinta (più avrà "basamento"), meno rischierà di ribaltarsi. Anche il peso proprio del contrafforte ha importanza, giacché contribuisce a condurre la forza risultante nell'interno della base: e quindi tutti i pesi che potranno venirgli aggiunti (pinnacoli, armature, coperture, ecc.) garantiranno una maggiore stabilità.

Quando i romanici costruivano, da una parte e dall'altra di una navata centrale, delle navate laterali coperte da volte, bloccavano in muratura lo spazio situato fra gli archi trasversali delle navate laterali e le basi degli archi trasversali della navata principale, così da sostenere le spinte di questa navata; essi realizzavano inoltre, anche sopra gli archi trasversali delle navate laterali, delle vele di muratura messe di sbieco, perché ricevessero, più in alto, le spinte della volta principale. Ciò permetteva di incanalare e neutralizzare le spinte della navata principale: in questo modo, i costruttori non facevano altro che una sorta di archi rampanti. La successione di questi archi coperti costituiva, insieme alle superfici delle volte che essi ricevevano, le navate laterali. Si può vedere una simile disposizione architettonica nella cattedrale di Sens. Soltanto quando si volle alzare la navata principale molto al di sopra di quelle laterali, allo scopo di sfruttare i progressi dell'arte vetraria per illuminarla direttamente ed ampiamente, diventò necessario puntellare le campate di questa navata con elementi vuoti, che non pesassero sulle volte delle navate laterali e potessero condurre le spinte fino ai contrafforti di tali navate, sopraelevati e rinforzati allo scopo. Gli archi rampanti erano così creati: questa struttura architettonica è assai chiaramente visibile a Chartres.

Villard de Honnecourt, nella sua tavola XXXIII, raffigura un'armatura che sovrasta una navata laterale, certamente destinata a venire coperta da una volta, poiché egli ne ha già disegnato la curvatura: si può osservare che una tale armatura, per la sua composizione e per la disposizione, spostata in altezza, dei suoi appoggi, esercita necessariamente una spinta sul muro che sostiene la navata principale e, nello stesso tempo, sul suo appoggio esterno, collocato più in basso: viene a prodursi, cioè, quello che in statica si definisce una "coppia". Un'armatura di questo tipo (con le differenze dovute al fatto che l'armatura è un insieme monoblocco, mentre l'elemento di muratura è composto da pietre congiunte) si comporta come un arco rampante.

I gotici svilupparono il sistema dell'arco rampante come se, incapaci di calcolare esattamente le forze, avessero intuito la possibilità di dividerle in componenti, allo scopo di meglio trasmetterle su degli elementi di struttura concepiti apposta per riceverle e neutralizzarle. Perché non avrebbero dovuto intuire una tale possibilità, come la sa intuire chiunque drizzi una scala, chiunque conduca una barca a vela o chiunque attacchi più cavalli ad un solo timone? Inoltre i costruttori dell'epoca, che erano carpentieri eccezionali, si volgevano logica-

Armatura gotica che copre una navata laterale (disegno di Villard de Honnecourt, Tavola XXXIII).

mente verso una soluzione che è normale in carpenteria, dove i pezzi di sbieco – traverse, saettoni, puntoni, puntelli, travetti – hanno un ruolo preciso ed importante. Non dimentichiamo che gli architetti del Medioevo erano spesso degli uomini competenti sia in muratura sia in carpenteria. È ciò che mettono in evidenza i monaci di Canterbury, quando ingaggiano Guillaume de Sens per riparare i danni subiti dal coro della loro chiesa, in seguito all'incendio del 1174: essi lo definiscono operaio "ingegnoso nella pietra e nel legno".

Dal punto di vista della struttura, un arco rampante potrebbe essere considerato come un contrafforte svuotato, a grandissimo basamento: si tratta, per essere più esatti, di un semiarco che, al suo vertice, fa spinta verso l'interno, opponendosi così alla spinta della volta, sulla base di questa, come farebbe un puntello. Poiché la spinta della volta deve essere necessariamente più forte di quella dell'arco rampante, esso trasmette la forza risultante al piede della spalla, che la riceve e la neutralizza. Così, al posto di un enorme contrafforte, il cui basamento considerevole assicurerebbe che la risultante obliqua delle forze derivate dalle volte finisca bene all'interno della sua massa (e ciò richiederebbe una grande quantità di pietre che, per la maggior parte, servirebbero solo per il proprio peso, contribuendo a ricondurre la componente un po' più vicino all'asse della navata), è sufficiente soltanto una sottile linea di pietra: l'arco rampante. L'esperienza permise ai gotici di ridurne progressivamente il volume fin

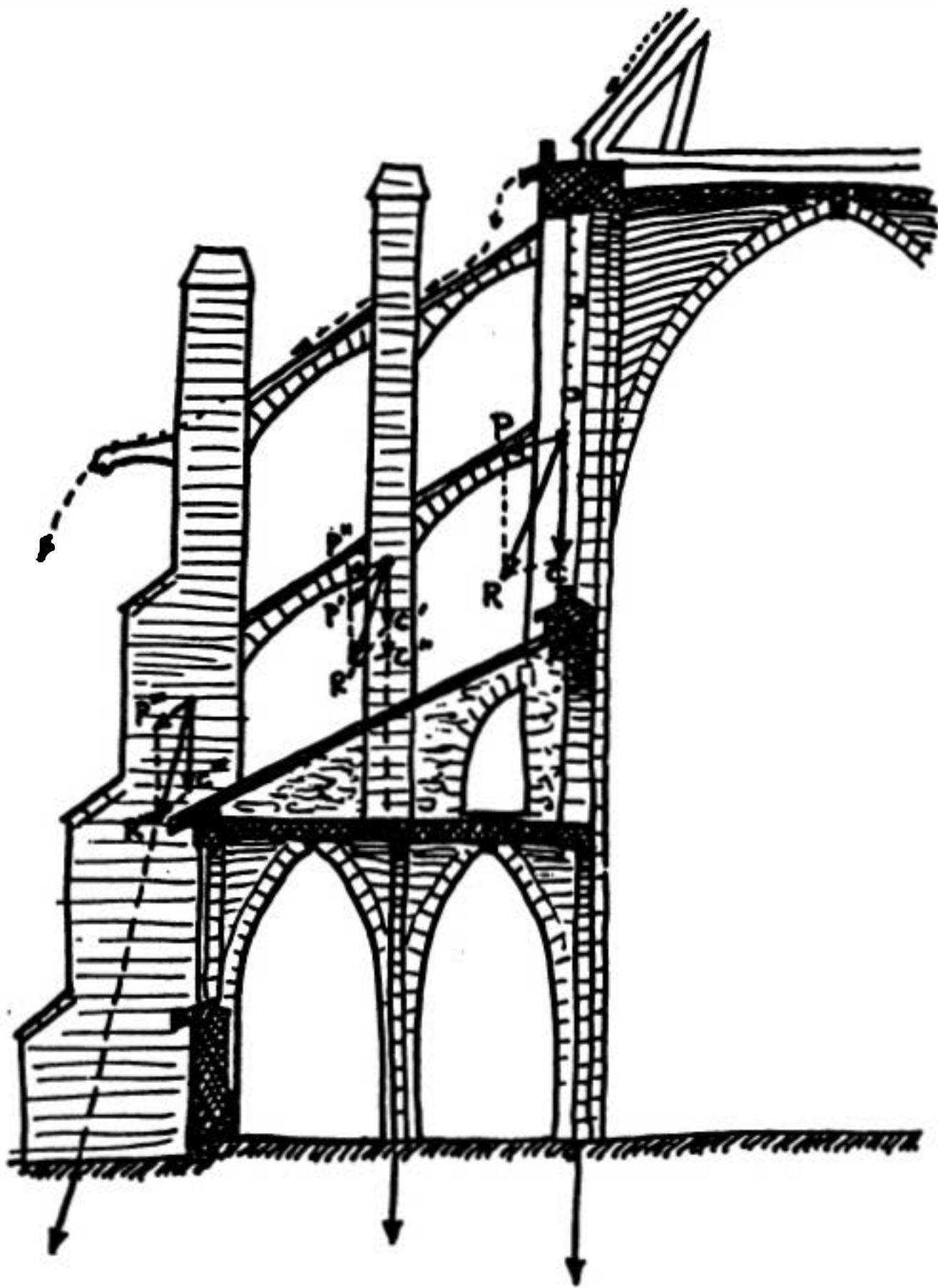
quasi allo stretto minimo, così come hanno rivelato recenti esperimenti su modelli[56]. In generale, nelle cattedrali molto alte, sono necessari parecchi archi rampanti sovrapposti per coprire i diversi punti dove s'esercitano delle spinte.

Così, la struttura architettonica combinante l'arco rampante e il pilone richiederà meno materiali che non un contrafforte di effetto equivalente, poiché essa agisce non in ragione della propria massa – e si ritrova qui l'eterna preoccupazione dei gotici di alleggerire la costruzione e di usare la minima quantità possibile di pietre – ma in ragione della propria disposizione in profondità e del proprio ampio basamento.

L'arco rampante, inoltre, così svuotato ed aereo, non costituisce più, come gli enormi contrafforti ai quali si sostituisce, uno schermo fastidioso contro la luce obliqua che colpisce le finestre e le aperture, diventate un elemento essenziale dell'architettura gotica. Gli archi rampanti sono anche un motivo di struttura e di decorazione originale, apparentato alle opere di carpenteria che erano familiari ai maestri gotici; essi hanno la possibilità, inoltre, di venire aggiunti in un secondo tempo contro una navata troppo arditamente elevata; la loro struttura apparente, infine, soddisfa l'occhio non meno che il desiderio di sicurezza. Questo dispositivo originalissimo, che d'altronde non è nemmeno stato applicato dovunque, permette di elevare le volte infinitamente più in alto, e in maniera assai più economica, di quanto non si riuscirebbe con dei contrafforti, poiché mette in opera una massa molto meno rilevante di pietre. Dei tiranti metallici potrebbero svolgere alcune tra le funzioni degli archi rampanti, ma non senza rischi, poiché presenterebbero quegli inconvenienti che abbiamo già segnalato. Non è senza dubbi e perplessità che le diverse scuole regionali ricorrono all'audace sistema, adottato nell'Ile-de-France, degli archi rampanti (che gli inglesi chiamano, in maniera assai più poetica e fantasiosa, *flying buttresses*, cioè "contrafforti volanti"). Regioni come l'Angiò e il Poitou evitano il loro impiego, mentre in Inghilterra sono usati solo raramente; altri costruttori, invece, tentano di dissimularli sotto i tetti, come in Borgogna, oppure cercano di sostituirli con delle volte a botte con funzione di contrafforti, come a Saint-Etienne di Caen. Non è quindi una caratteristica generale di tutta l'architettura gotica.

I SUPPORTI E LA MASSA DI CARICO

Altro aspetto particolarmente interessante dell'architettura gotica, la disposizione orizzontale (e non a raggiera) degli strati inferiori dei cunei in certe volte – quello che gli specialisti chiamano *tas de charge*, cioè, letteralmente, "massa di carico" – ha dato luogo a considerazioni talora contraddittorie: questa dispo-

[56] In particolare R. Mark.

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DEGLI ARCHI RAMPANTI

Gli archi superiori hanno non solamente la funzione di far da supporto alla grondaia di evacuazione dell'acqua dei tetti, fatta scendere al di là delle navate laterali, ma soprattutto quella di opporsi, quando è il caso, agli effetti del vento (che può essere anche molto forte, a causa dell'altezza delle cattedrali). Poiché questi archi non hanno da sostenere che il loro proprio peso, producono solo minime spinte sui loro piloni, quando non c'è vento: le loro controspinte verso il centro della navata sono neutralizzate dall'armatura.

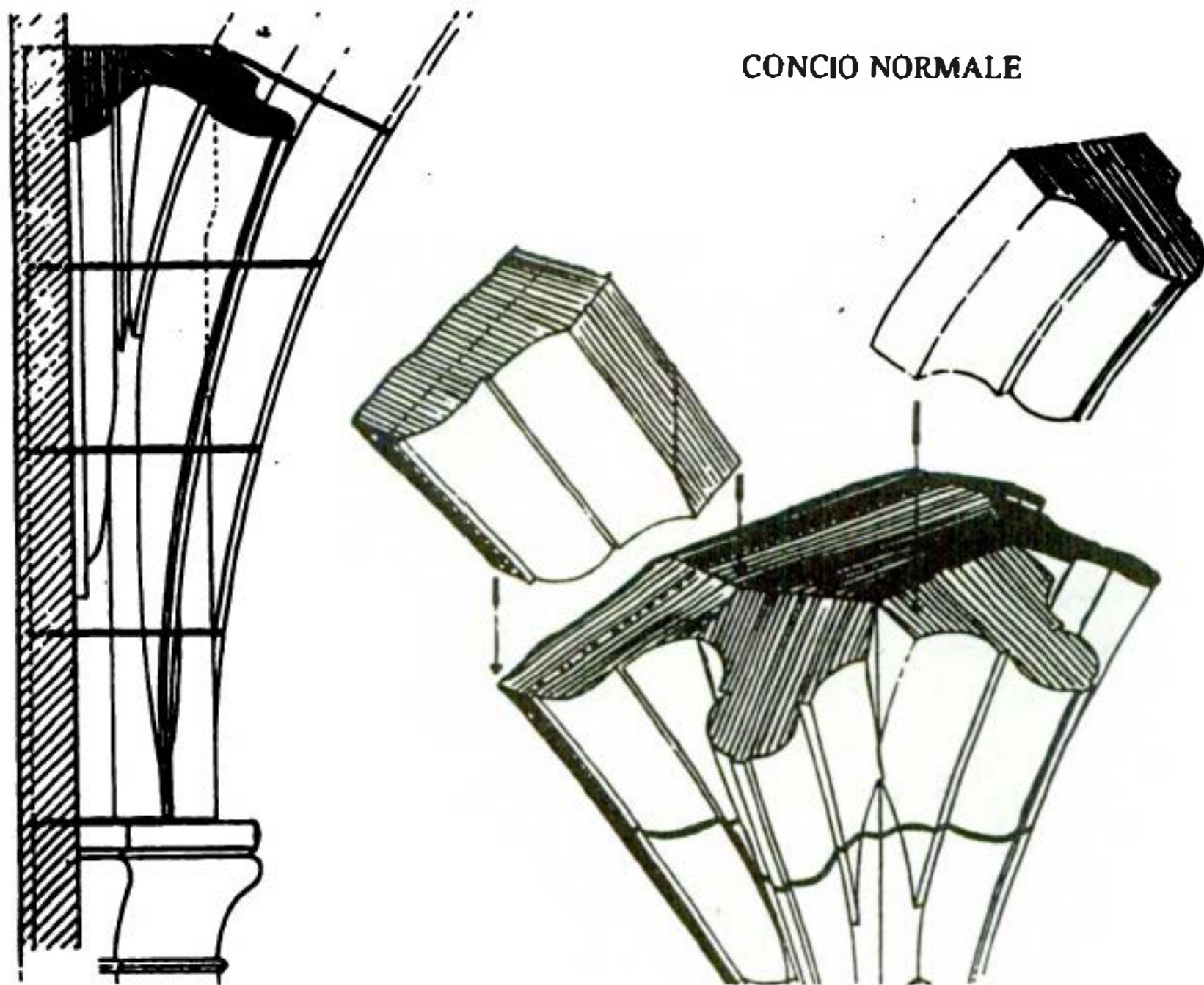
Gli archi inferiori hanno una permanente e principale funzione di controspinte e la loro azione si esercita proprio alla base delle volte della navata principale al di sopra della "massa di carico".

Gli archi superiori ed i pinnacoli (parte superiore dei piloni) contribuiscono, con il loro peso, a condurre progressivamente le componenti delle forze di spinta delle volte verso la verticale, lungo ogni pilone, e a portarle all'interno dei basamenti della spalla terminale, condizione indispensabile per la stabilità.

sizione ci appare direttamente legata a quella del sostegno delle volte. Choisy propone essenzialmente[57], per spiegarla, il motivo d'una maggiore semplificazione nel taglio delle pietre: ragioni di questo tipo, in effetti, sono valide nel caso di volte e di archi che cadono, da differenti parti, su una medesima colonna o pilastro; risulterebbe, infatti, complicato, costoso ed inutile tagliare a piramide, per ottenere dei giunti a raggiera, le pietre che, a causa della giustapposizione delle origini delle diverse nervature (e dell'impossibilità di scomporre in molte pietre elementi di dimensioni relativamente ridotte), comportano molti profili nel punto dove i giunti cominciano a divergere.

Poiché, inoltre, gli elementi sovrapposti sono differenti, non è possibile alcuna standardizzazione per queste pietre. I costruttori, pertanto, non individualizzarono i cunei che a partire dal livello in cui le nervature divergevano in modo sufficiente da permettere che ognuna richiedesse dei cunei particolari: la volta, fino all'altezza di un certo numero di strati di pietre, veniva costruita in modo che i giunti fossero orizzontali. Choisy sembra accettare l'affermazione di Viollet le Duc secondo la quale la disposizione a "massa di carico" ridurrebbe le spinte[58]: ora, la direzione dei giunti alla base della volta può avere un effetto più o meno favorevole per la sua tenuta, ma non potrebbe in alcun modo ridurre le spinte, che risultano dai carichi, dalle ampiezze delle volte e dalle loro altezze. La disposizione orizzontale degli strati inferiori dei cunei di un arco è logica nella misura in cui la risultante delle forze che viene trasmessa è verticale. È il caso dei pilastri o delle colonne isolate, dove la combinazione delle forze antagoniste annulla le spinte orizzontali per non lasciare sussistere che dei carichi verticali: in caso contrario, d'altra parte, il supporto si capovolgerebbe o si sposterebbe. Con il sistema degli archi rampanti le forze, da una parte e dall'altra della volta, vengono divise in due componenti, l'una che segue l'asse dell'arco rampante, l'altra, verticale, che segue l'asse del muro (o del pilastro) che riceve la base della volta: quest'ultimo elemento non riceve quindi – in principio – che dei carichi verticali, come i punti d'appoggio isolati.

Al contrario, in un contrafforte che sia solidale al muro, la risultante della composizione dei carichi verticali e delle spinte orizzontali forma un angolo con la verticale (per poter arrivare all'interno della base di sostegno del contrafforte, senza di che il contrafforte stesso tenderebbe a capovolgersi). Se questo angolo è piccolo, l'aderenza dei giunti è sufficiente perché la loro disposizione orizzontale non generi degli inconvenienti; se invece è più grande, il contrafforte "lavora male", come si suol dire nel gergo dell'edilizia, e corre il rischio di fessurarsi.

[57] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 273.
[58] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, IX, p. 10.

LA MASSA DI CARICO

Disposizione a "massa di carico": esempio preso a Bourbon-l'Archambault (doc. C.R.N.M.H.).

Quando degli archi giungono da parti diverse ad appoggiarsi gli uni sugli altri su un medesimo supporto puntuale, il luogo dove gli strati diventano orizzontali ha poca importanza per ciò che riguarda le spinte, poiché esse si annullano incontrandosi e non lasciano che una componente verticale; le spinte s'incontreranno nel punto in cui gli archi cominceranno ad appoggiarsi: che esso sia più o meno al di sopra dell'origine geometrica degli archi non cambia nulla. Per contro, se consideriamo lo svolgersi del lavoro in cantiere, questa disposizione a massa di carico – ed è questo un altro vantaggio che può aver giocato a favore di essa – permette di utilizzare una centina solo per la parte superiore dell'arco, al di sopra di quella specie di mensole formate dagli aggetti successivi delle pietre i cui strati sono orizzontali, nonostante la curvatura dell'arco. Ancora una volta, si tratta di un accorgimento che permette di economizzare il legname. D'altra parte, esso verrà ideato ed applicato solo progressivamente; la navata di Notre-Dame di Parigi, infatti, non ne presenta alcuna traccia, mentre nella cattedrale di Soissons, costruita più tardi, la disposizione si trova in tutte le basi delle volte.

L'esame delle chiese distrutte o danneggiate è molto istruttivo, da questo punto di vista. Sono proprio le pietre, infatti, che potevano, al tempo della costruzione, stare in aggetto senza centine quelle che, oggigiorno, si vedono sporgere, negli edifici distrutti, sopra i pilastri dai quali una volta scaturivano.

A Chaalis, ad esempio, si vede chiaramente che i cinque o sei primi cunei delle nervature hanno i loro giunti disposti orizzontalmente: sono proprio questi quelli che il tempo e le distruzioni non hanno fatto cadere. A Longpont, la base delle nervature è disposta esattamente come nel disegno di Villard de Honnecourt[59], che rappresenta una cattedrale in costruzione. Nelle chiese in rovina, come, ad esempio, in quella di Longpont, si vede anche che l'equilibrio delle forze antagoniste fra gli archi rampanti e le volte è a tal punto esatto, che là dove la volta è caduta anche l'arco rampante è scomparso. Solo i piloni, con gli inizi degli archi rampanti e, più in basso, delle nervature delle navate laterali, testimoniano ancora di ciò che era una volta la costruzione.

Riportando sistematicamente sugli archi rampanti tutte le forze che deviavano dalla verticale, i gotici riuscirono, insomma, ad alleggerire considerevolmente la costruzione: i pilastri, infatti, non rischiavano più, come ancora poteva accadere sotto le pesanti volte romaniche, di dover sostenere, a motivo di un'insufficiente puntellatura, delle forze non verticali: un rischio che obbligava i costruttori, per ragioni di prudenza, ad ispessirli considerevolmente. Grazie all'alleggerimento delle volte, si poteva ridurre al massimo la sezione dei supporti, ottenendo così non solo di economizzare il materiale, ma anche di facilitare il sollevamento e la collocazione degli elementi. Ne conseguì una spettacolare riduzione della sezione di punti portanti. È stato osservato, infatti, che i pilastri del coro della cattedrale di Durham (1093) hanno – come sostiene un architetto inglese – una sezione che è diciassette volte maggiore rispetto a quella dei pilastri del coro di Canterbury, costruito meno di un secolo dopo (1175), con un'uguale ampiezza della navata[60].

Dall'epoca romanica in poi, d'altra parte, erano stati fatti dei progressi in materia di alleggerimento: i pilastri di Saint-Bénigne di Digione, una chiesa costruita all'inizio dell'XI secolo, erano quattro volte più grossi di quelli della cattedrale di Santiago de Compostela, costruita sessantacinque anni più tardi[61]. Anche gli archi rampanti furono oggetto di perfezionamenti e aggiustamenti successivi, con l'obiettivo di raggiungere una sempre maggiore economia dei materiali. Così, le spalle degli archi rampanti della cattedrale di Bourges rappresentano, in rapporto a quelle della cattedrale di Chartres, che ha più o meno le medesime dimensioni, un'economia del 60%: si tratta, infatti, di sole quattro-

[59] V. de Honnecourt, *op. cit.*, tav. LXIII.
[60] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 80.
[61] *Ivi*, p. 49.

LA MASSA DI CARICO

Esempio di "massa di carico": si vedono i 4 strati orizzontali; col cuneo superiore iniziano i giunti disposti a raggiera (cattedrale di Soissons).

cento tonnellate di pietra, contro le mille tonnellate di Chartres[62]. Questo risparmio fu reso possibile da un disegno più ardito, più leggero e più appropriato degli archi rampanti: in questo senso, la costruzione di Bourges, terminata in

[62] R. Mark, *op. cit.*, p. 53.

un'epoca posteriore rispetto a quella in cui venne ultimata la cattedrale di Chartres, poté beneficiare dei tentativi e delle esperienze precedenti.

La tecnologia gotica non poteva certo contribuire dall'oggi al domani ad alleggerire così grandemente la costruzione: se ne segue il progresso attraverso successive realizzazioni, a partire dai primi tentativi pregotici – come la cattedrale di Durham – fino alle realizzazioni del XIII e del XIV secolo, dove l'alleggerimento tocca i limiti estremi compatibili con la stabilità, come a Bourges, a Le Mans, a Beauvais, a Metz... Il coro di Beauvais, che era troppo ardito, crollò nel 1284 e – nuovo tentativo troppo audace dei successori dei gotici – la guglia della stessa cattedrale resistette solamente sette anni (1566-1573).

Viollet le Duc[63] attribuisce la necessità in cui ci si trovò nel XIX secolo di distruggere la guglia di Saint-Denis, che minacciava di cadere, al fatto che la pietra, con la quale era stata costruita per la prima volta la guglia, era stata sostituita, durante un restauro, da una pietra più dura: ciò aveva prodotto un supplemento di peso su parti inferiori che non erano state consolidate.

Si vede da questo esempio come i gotici lavorassero al limite delle possibilità dei materiali. Del resto, il XIII secolo, che vide crollare il coro di Beauvais, conobbe anche, in Francia, la caduta di parecchie torri o guglie troppo audaci, fra le quali si possono ricordare la Torre della cattedrale di Sens (1267) e la Torre di Sainte-Bénigne a Digione (1272)... Dovevano, tuttavia, essere crollate molte più torri ancora – almeno in Inghilterra – nell'epoca precedente, giacché un inglese[64] afferma che il progresso tecnico è illustrato dal numero di torri che crollarono nel periodo anteriore, a paragone della rimarchevole durata delle costruzioni gotiche. Ma se nessuna di queste crollò mai, in Inghilterra, durante il periodo gotico, è anche perché gli inglesi seppero essere più prudenti dei francesi. D'altronde, essi evitarono spesso di costruire delle volte anche quando disponevano di legname a sufficienza, poiché i loro architetti, che avevano meno esperienza di quelli francesi, preferivano non correre dei rischi.

I gotici francesi, troppo audaci e trascinati dall'emulazione, finirono con l'incontrare alcuni insuccessi nella loro corsa verso l'altezza e l'alleggerimento. A partire dalla fine del XIII secolo, si adattarono ad una maggiore prudenza. Ma l'arditezza dei costruttori gotici era, per un certo verso, vera e propria incoscienza. Talvolta è a causa del reimpiego, per economia, di sottostrutture o di costruzioni antiche che certi edifici conobbero degli insuccessi, talora secoli dopo la loro costruzione. Quando, ad esempio, si dovette procedere, dal 1967 al 1972, ad urgenti lavori di rifacimento sulla cattedrale di York (costruita dal 1220 al 1472), ci si rese conto, in particolare, che le pressioni che si esercitavano sulle fondamenta della torre centrale, la più antica, erano di sessantasei

[63] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, V, p. 434.

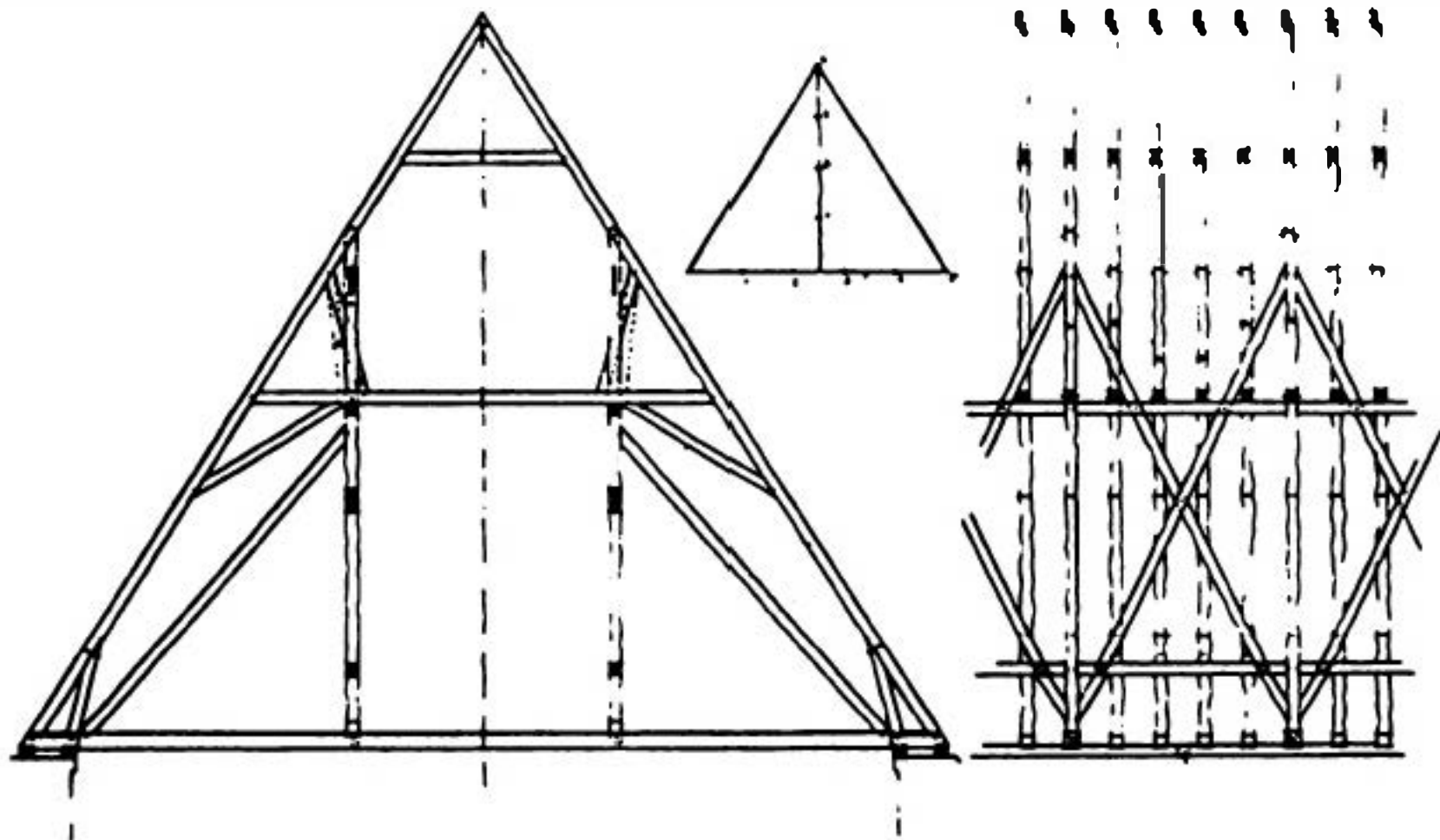
[64] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 81.

tonnellate per metro quadrato, cioè otto volte più di quanto ammettono le norme attuali. E quando la regina Elisabetta, nel 1971, andò a visitare i lavori in corso, ci si rese conto che sarebbe stato pericoloso far suonare le campane della Torre di Sud-Ovest, sospese a quarantasei metri dal suolo, perché le fondamenta di questa torre non erano in grado di sopportarne il peso... L'insieme dei lavori di rifacimento di questa cattedrale costò due milioni di sterline e richiese la colatura di duemilacinquecento tonnellate di cemento armato, nonché l'uso di centoventi tonnellate di acciaio ad alta resistenza e di ben sei chilometri di barre di acciaio inossidabile[65]. Ci si rende conto, attraverso queste cifre, di ciò che richiederebbero le norme moderne della tecnica per costruire quelle cattedrali gotiche, che furono edificate con mezzi semplicissimi e rudimentali.

L'armatura

Una capriata, nell'armatura, corrisponde a quello che è un arco nella muratura: è una costruzione, composta da molti elementi uniti insieme, che permette di superare uno spazio che un solo elemento non riuscirebbe a coprire. Fra le capriate, distanziate in genere fra i due metri e mezzo e i cinque metri circa, quando sono di legno e di tipo tradizionale, sono posate delle travi, gli arcarecci, che reggono i travicelli, separati uno dall'altro da circa trenta-cinquanta centimetri, sui quali poggia la copertura del tetto. I romani, i greci e i costruttori dell'epoca romanica sostenevano le coperture delle loro costruzioni mediante armature massicce di questo tipo.

È sorprendente osservare come i gotici, proprio mentre andavano sviluppando una struttura di pietra che concentrava le spinte su pochi punti, così da poter inserire ampie aperture nelle pareti, ottenere dei passaggi e padroneggiare più facilmente le forze in gioco (e uno degli esiti conclusivi di un tale impegno fu l'originale sistema degli archi rampanti), costruissero al di sopra, tutto al contrario, delle armature che facevano ripartire i pesi in maniera pressoché uniforme. Il sistema dei travicelli usati come puntoni di capriata, cioè il sistema delle armature senza arcarecci (piccole capriate distanti una dall'altra fra i cinquanta e gli ottanta centimetri, dove non c'è più bisogno di arcarecci e di capriate vere e proprie), fa infatti gravare il peso delle coperture, che spesso è assai notevole, su tutta intera la lunghezza di quei muri esterni che i gotici, invece, avevano cercato con tutti i modi di alleggerire per aprirli maggiormente alla luce. Questa anomalia non sembra aver molto colpito la maggior parte degli

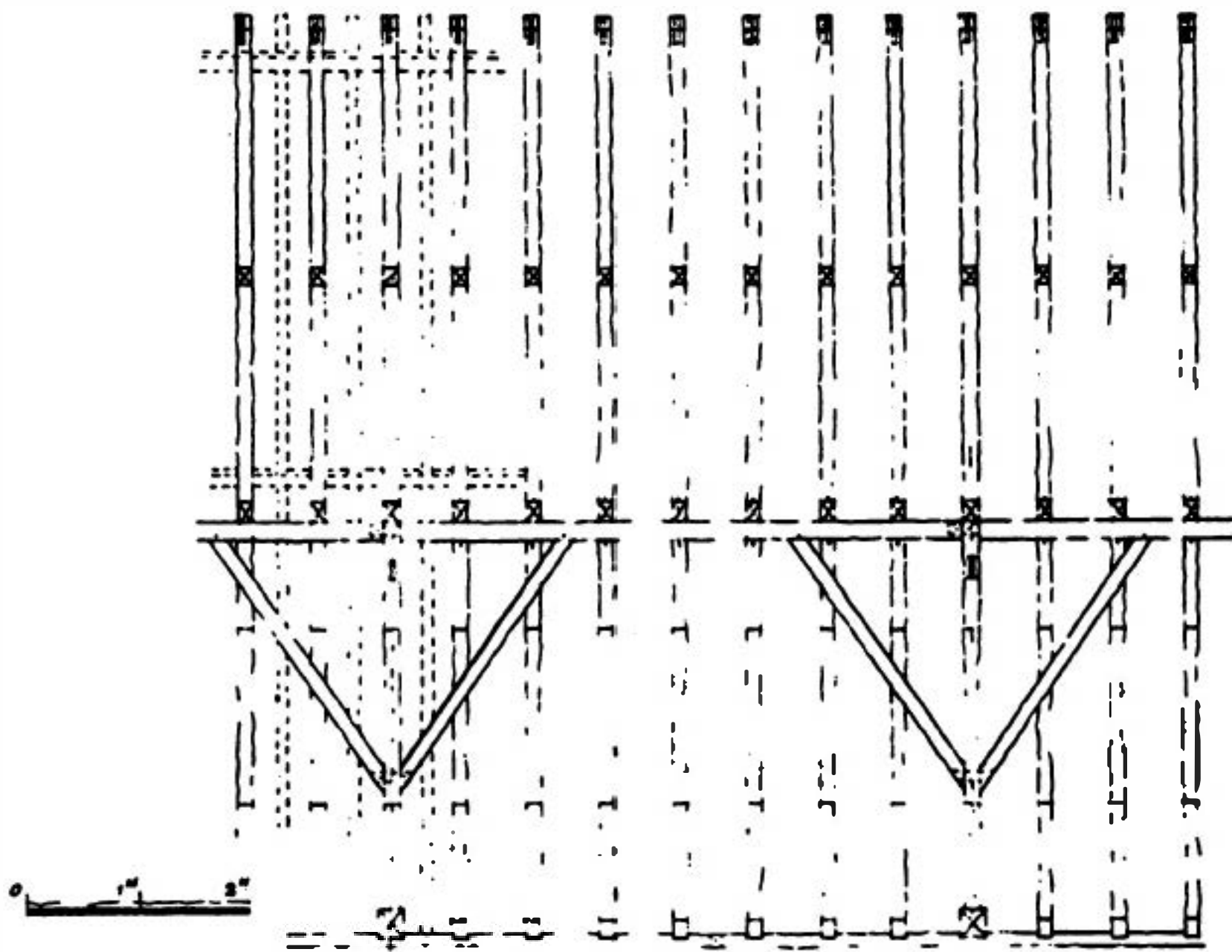
[65] Lord Halifax, "La sauvetage d'une grande cathédrale", in *Le Bâtiment*, aprile 1972.

CAPRIATE GOTICHE

Armatura gotica con travicelli facenti funzione di capriate: cattedrale di Auxerre (inizi XIII sec.) (rilevazione di H. Deneux, doc. C.R.N.M.H.). Moltiplicazione delle capriate in elementi di piccola sezione. Legami trasversali a determinati intervalli (catene) (doc. C.R.N. M.H.).

storici dell'arte medievale: essi ovviamente, hanno notato questa forma di armatura, ma pochissimi fra di loro si sono posti degli interrogativi.

Ora, non è certo per "moda" o per fantasia che i gotici scelsero questo sistema di armatura. Ma non è neppure, in ogni caso, perché esso fosse particolarmente adatto alla struttura di pietra sottostante. Parlando, infatti, delle deformazioni, talora notevoli, delle volte gotiche, l'architetto Pol Abraham scrive: "Bisogna anche fare intervenire la spinta delle armature senza arcarecci"[66]. Dal canto suo, Camille Enlart[67] osserva: "È curioso notare che se il carpentiere ed il muratore realizzano simultaneamente i loro progressi, questi progressi tendono a due finalità rigorosamente antitetiche. In effetti, l'antico sistema di armatura a capriate aveva come risultato di ripartire tutto il peso del tetto su alcuni punti distanziati: è quello che garantivano, per ciò che riguarda la volta, gli archi ogivali, mentre la volta romanica e l'armatura francese a piccole capriate distribuiscono il peso in maniera continua ed uniforme. Ci si può quindi domandare se non sarebbe stato più logico applicare l'antico sistema di armatura alla volta a crociera ogivale, e se la costruzione francese non sarebbe stata più in accordo

[66] P. Abraham, *op. cit.*, p. 9.

[67] C. Enlart, *op. cit.*, p. 491 e 492.

Altro esempio di armatura a piccole capriate: Priorato di St-Martin-des-Champs, refettorio. Rilevazione di Deneux, disegno di F. Chabas (doc. C.R.N.M.H.).

con le vecchie massicce capriate, le quali avrebbero contribuito ad accentuare la sua stabilità, esercitando pressione solo su alcuni punti determinati". Questo autore espone insomma gli inconvenienti di tali armature leggere, non puntellate, che hanno spesso tendenza a piegarsi, ma non fa alcuna ipotesi sulle ragioni di un così paradossale mutamento: si limita a constatare.

"Dal 1147 in poi [...] si osserva l'adozione del nuovo sistema di copertura, che accompagnerà in modo oramai costante l'architettura francese. Questo sistema è l'armatura con travicelli – capriate, ma si dovrebbe dire più esattamente "con travicelli implicanti capriata" o "facenti capriata", giacché le vecchie capriate propriamente dette sono scomparse, così come gli arcarecci fra le capriate, che riappariranno solamente alla fine del XV secolo. Poiché i travicelli, distanziati fra i 60 e gli 85 cm, fanno funzione di capriate, il carico dell'armatura e della copertura, di conseguenza, viene ad essere ripartito, in maniera continua e uniforme, su tutta la lunghezza dei muri laterali"[68].

[68] *Ivi.*

Choisy attribuisce l'adozione di questo nuovo sistema di armatura alla "aumentata rigidità delle coperture"[69], ipotizzando che il sistema avesse come fine di impedire alle capriate di scivolare. Sembra, tuttavia, che a creare dei problemi, nel caso di armature a forte inclinazione, dovrebbe essere semmai la fissazione degli arcarecci alle capriate (cosa di cui Choisy non parla affatto): tali problemi vengono risolti generalmente tramite piccoli pezzi di legno che vengono inchiodati, a mo' di biette, sui puntoni (e talvolta, nelle antiche armature, già inseriti dentro di essi). Oggi, invece, gli arcarecci sono tenuti mediante squadre, staffe o bulloni: ma tali soluzioni moderne, che fanno appello a pezzi metallici, erano ovviamente inapplicabili al tempo dell'arte gotica.

Quanto al modo di fissare i travicelli sugli arcarecci, nel caso del sistema classico di capriate, esso è generalmente reso possibile, ai nostri giorni, per mezzo di grandi chiodi. Essi evitano, senza alcuna difficoltà, lo scivolamento dei travicelli, qualunque sia la pendenza, poiché gli arcarecci sono separati, in generale, da una distanza verticale fra il metro e cinquanta e i due metri e cinquanta circa, mentre un travicello poggia normalmente su parecchi arcarecci. Un tale fissaggio non presenta quindi alcun problema, tranne quando si abbiano delle difficoltà a reperire i chiodi. Nel caso di forti pendenze si possono, inoltre, appoggiare i travicelli gli uni sugli altri sopra l'arcareccio. I numerosissimi esempi di armatura a forte pendenza, che comportano l'uso di capriate, arcarecci e travicelli, rendono discutibile il motivo invocato da Choisy; ma egli forse vuol dire che, sostituendo i travicelli con delle piccole capriate, di un solo pezzo o di più pezzi riuniti insieme, si potevano evitare i problemi che presentava il fissaggio dei travicelli sugli arcarecci – soprattutto quando non si potevano utilizzare delle punte o dei pezzi metallici. "Queste armature sommariamente sgrossate con l'accetta, fatte con pezzi di alburno, sono legate a coda di rondine e generalmente solo a mezzo di legno. Vi vengono usati dei tenoni e delle mortase per sospendere certe travi, ma il metallo non vi interviene mai"[70].

Su questo punto, infatti, numerose testimonianze attestano che il metallo, riservato prioritariamente per le necessità militari e per la strumentazione, era del tutto assente dalla carpenteria medievale. Viollet le Duc, Mackenzie, Brandon, Howard, Willis e Salzman sono tutti citati, su questo punto, da Fitchen[71], il quale, per suo conto, aggiunge che nell'epoca gotica si adoperavano assai più chiodi di ferro in Inghilterra che in Francia.

Appare chiaro, insomma che dovevano esistere delle ragioni imperative perché questo nuovo sistema di carpenteria, soprattutto nella Francia gotica, soppiantasse il sistema tradizionale. Viollet le Duc, di cui non si può mettere in

[69] A. Choisy, *op. cit.*, p. 322.
[70] *Ivi.*
[71] J. Fitchen, *op. cit.*, p. 87.

dubbio la conoscenza dell'architettura gotica, scrive[72]: "Verso la metà del XII secolo, gli architetti sentirono la necessità di impiegare dei legnami di minor taglio e, di conseguenza, più facili a procurarsi e più leggeri. Poiché si usavano dei legni più piccoli, era necessario dare ai puntoni una maggiore inclinazione, affinché non si piegassero sotto il peso della copertura..." e afferma, in un altro punto: "Le foreste diradate del continente non forniscono più il legname di quegli alberi due volte secolari in una quantità così grande, da far sì che i costruttori non siano obbligati a sostituire il volume dei legni con un giudizioso impiego delle loro qualità [...]. L'arte della carpenteria si dedica a cercare delle soluzioni che suppliscano alle piccole dimensioni dei legnami impiegati"[73].

Villard de Honnecourt testimonia a più riprese, nei suoi *Carnets*, del desiderio dei costruttori gotici di utilizzare legname di piccolo taglio: egli mostra, ad esempio, sulla tavola XXXVIII, un ponte al di sopra dell'acqua, fatto con tronchi di 20 piedi di lunghezza. Sulla Tavola XLIV rappresenta come si può costruire un'impalcatura in una casa con dei pezzi di legno troppo corti. Viollet le Duc osserva anche che, nei primi tempi del gotico, l'armatura classica a capriate massicce continuò ad essere usata, ma che essa venne sostituita, verso la fine del secolo, dal nuovo sistema, almeno in Francia, poiché egli precisa: "È per la grossezza dei legni impiegati che le armature anglo-normanne si differenziano, in primo luogo, da quelle eseguite in Francia, durante il XIII, il XIV e il XV secolo"[74]. E, per la Francia, egli osserva: "Le vecchie capriate si sono conservate nelle regioni dove la pietra è rara ed è comune il legname".

Choisy, d'altronde, ha messo in evidenza[75] che, a partire dal XV secolo, l'impiego di tetti a piccole capriate diventa meno esclusivo, mentre l'armatura con le vecchie capriate e gli arcarecci ritorna nell'uso, senza mai tuttavia arrivare a soppiantare totalmente il nuovo sistema delle piccole capriate, che anzi continua ad essere impiegato fino al XVII secolo. Ora, noi abbiamo visto che è proprio a partire dalla metà del XIV secolo che il capitale boschivo della Francia, in seguito alla Peste Nera e alla guerra dei Cento Anni, comincia a ricostituirsi in molte regioni.

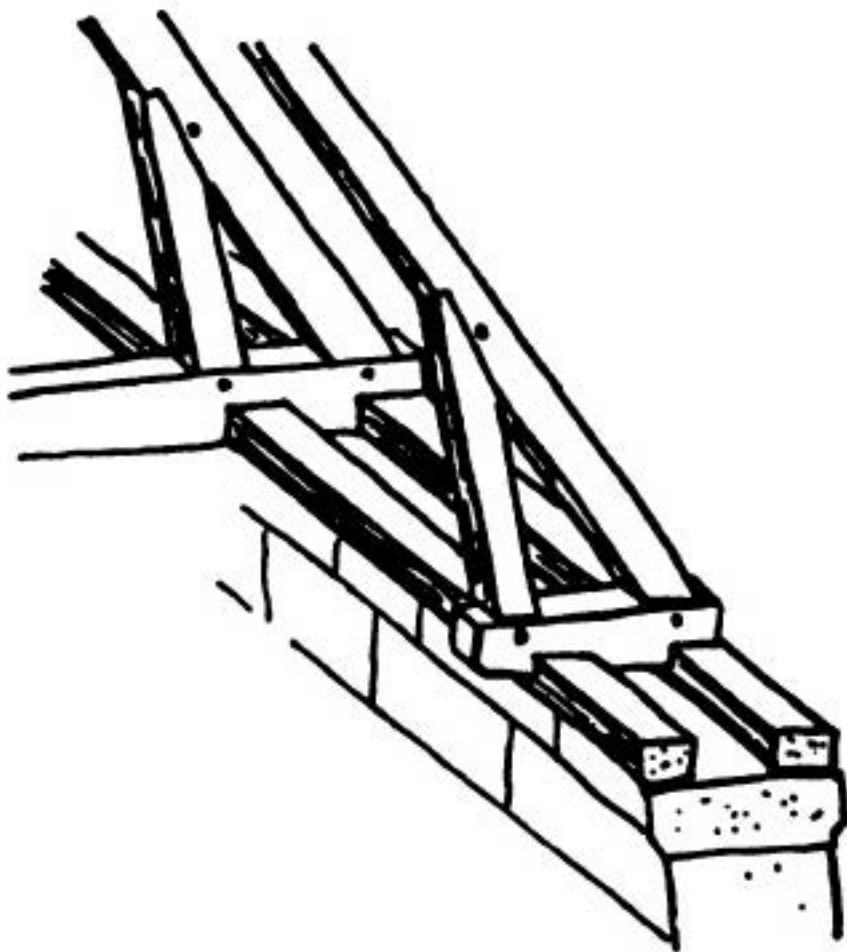
È fuor di dubbio che l'armatura classica con capriate ed arcarecci, ereditata dalle tradizioni antiche, richiedeva dei legnami di taglio particolarmente grande, tanto più che molti pezzi, come le catene alla base della capriata, lavoravano alla flessione, mentre adesso la regola essenziale è di far lavorare gli elementi delle capriate unicamente alla compressione e alla trazione, al fine di utilizzare in modo razionale ed economico il materiale.

[72] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, III, p. 25.
[73] *Ivi*, III, p. 2-3.
[74] *Ivi*, III, p. 36.
[75] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 329.

Così, fra molti altri esempi, l'armatura della cattedrale di Messina, costruita nel XII secolo dai Normanni, probabilmente con mano d'opera musulmana, comporta delle catene di quattordici metri di lunghezza, che hanno la sezione incredibile di ottanta centimetri per quarantacinque. E tuttavia la distanza nel senso longitudinale fra le capriate non supera i due metri e cinquanta, ciò che ha permesso di adottare un'originale disposizione di travetti orizzontali, formanti come dei piccoli arcarecci molto ravvicinati, su cui posano i listelli e, più sopra, le tegole. Questo sistema di listelli è del resto duplice, mentre un motivo decorativo a forma di stella cava assicura la ventilazione dello strato superiore del legno. Sembra che per queste capriate si adoperasse del legno di larice. Una tale armatura era destinata a ricevere delle tegole a canale, cioè un tipo di tetto particolarmente pesante[76].

Ma le leggere armature dei gotici a piccole capriate – come ha osservato l'architetto Pol Abraham[77] – non erano perfettamente indeformabili, nonostante la disposizione incrociata e rinforzata dei pezzi impiegati, a causa della leggerezza del tipo di legname che veniva usato. È per questo che i gotici dovettero trovare dei mezzi per contrapporsi alle spinte dell'armatura.

Talvolta si trovano, in alcuni punti, delle capriate maestre il cui ruolo, oltre a quello di controbilanciare la spinta degli archi rampanti prima della chiusura delle volte, è di opporsi alle spinte e allo scivolamento delle estremità delle armature: talvolta, invece, sono i contrafforti o gli archi rampanti della muratura ad avere questo ruolo per le armature. Ma bisognava, in entrambi i casi, tener fermi solidamente i piedi delle tante piccole capriate, che tendevano a spingere verso l'esterno il muro e la trave detta *sablière*, cioè l'arcarecchio inferiore, un pezzo di legno collocato di piatto sulla cima del muro, destinato a ricevere i piedi delle capriate o dei travicelli. I gotici escogitarono un sistema di doppia *sablière*, così da formare una sorta di trave composta, a graticcio, collocata sulla parte superiore del muro e fatta da due pezzi di legno orizzontali e paralleli, stretti qua e là da legature trasversali[78]. È manifesta l'ingegnosità che dovettero dispiegare questi costruttori per ovviare ai problemi prodotti dal nuovo sistema di armatura, problemi che non avrebbero dovuto affrontare se avessero potuto continuare a disporre di pezzi di legno sufficienti, per sezione e lunghezza, a costituire delle vere e proprie capriate massicce e spaziate. Viollet le Duc, ad esempio, segnala[79] che i carpentieri di quest'epoca "... sembrano aver paura di impiegare, anche nelle armature più grandi, dei legni di gran taglio e quindi molto vecchi; se avevano bisogno di un pezzo di dimensioni rilevanti,

[76] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, III, p. 23-25.
[77] P. Abraham, *op. cit.*, p. 61.
[78] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, III, p. 11-36.
[79] *Ivi*, II, p. 215.

ARMATURA GOTICA

Dispositivo di trave sablière *composta (da un disegno di Viollet le Duc), che può essere confrontato con i disegni di p. 230 di Villard de Honnecourt.*

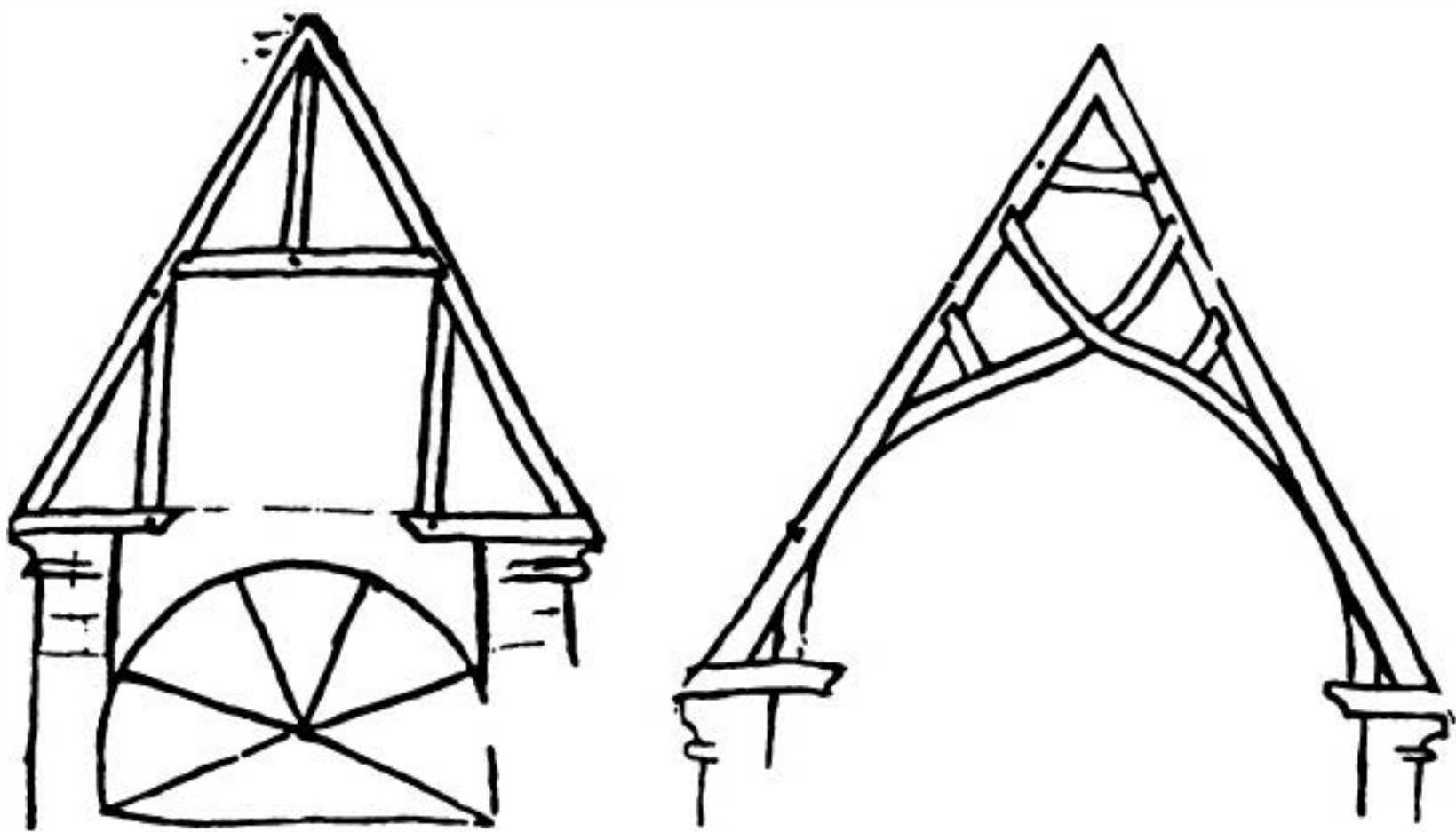
come, ad esempio, di un monaco per reggere una guglia, essi riunivano insieme quattro fili" (cioè quattro pezzi di minore sezione).

Quando si pensa – noi ne abbiamo portato molte prove e testimonianze – alla penuria, in quell'epoca, di legname di grande sezione (che s'aggiunge alla difficoltà di procurarsi del ferro, anche per dei semplici chiodi), tutto si chiarisce e si comprende perché i gotici abbiano fatto ricorso ad un sistema di armatura che, a prima vista, sembra essere così poco logico (soprattutto in confronto con il tipo di costruzione adottato per la muratura). Un tale sistema richiama, d'altronde, le armature che vengono normalmente impiegate, ai nostri giorni, nei paesi anglosassoni e nordici, per la costruzione di case in legno prefabbricate, il cui uso sta prendendo piede anche in Francia; lo sviluppo di un tale sistema si spiega facilmente: esso, infatti, richiede degli elementi di piccola sezione, talvolta dei semplici compensati; non esige complicati strumenti di sollevamento (due uomini possono alzare queste armature, con qualche sostegno ed una semplice carrucola); e infine si presta alla prefabbricazione.

Tenuto conto dell'altezza talora vertiginosa alla quale i tetti gotici venivano posati, nonché delle enormi superfici da coprire e della lunghezza di alcune navate, la semplificazione del processo di sollevamento e di collocazione, insieme all'eventuale possibilità di prefabbricazione, erano vantaggi assai importanti. Bisogna pensare che certe navate – come a Notre-Dame di Parigi – superano i centoventi metri. Con il sistema delle piccole capriate, distanziate una dall'altra

sessanta o settanta centimetri, lunghezze simili corrispondono a circa centocinquanta o duecento piccole capriate: diventa possibile, insomma, una fabbricazione in serie.

D'altra parte, la penuria di maestri carpentieri qualificati, che erano chiamati prioritariamente, o requisiti, per le costruzioni militari e le macchine da guerra (distrutte, rovinate, bruciate e demolite incessantemente) o per le costruzioni civili (sempre da rifare, a causa degli incendi), tendeva anch'essa a favorire un tipo di armatura meno elaborato: è lo stesso problema che si pone oggigiorno nella costruzione di case individuali in serie o di scuole: l'obiettivo è quello di avere delle armature che possano essere costruite, divise in pezzi, legate insieme e messe a posto tramite semplici manovre; le soluzioni sono un poco diverse nel dettaglio – senza contare l'uso dei compensati – in particolare perché oggi si può disporre, a prezzi relativamente assai bassi e senza limite di quantità, di bulloni e di pezzi metallici da raccordo o da collegamento.

Bisogna anche osservare che l'armatura leggera dei gotici si prestava in modo particolare alla precoce installazione di un "parapioggia", cioè alla possibilità di coprire l'edificio prima che fosse ultimata la costruzione delle volte. "Si costruiscono le armature e le coperture per riparare il cantiere e proteggere i muri" scrivono Aubert e Verrier. Una tale soluzione è logica in paesi dal clima variabile e piovoso: essa era quasi indispensabile quando ci si serviva di una tecnica di costruzione senza centine per le vele delle volte, che la pioggia, diluendo la

ARMATURE GOTICHE

1) e 2) Schizzi di armature di Villard de Honnecourt (egli scrive: "Qui si può vedere un buon tetto 'leggero'").

malta dei giunti, avrebbe potuto far crollare. Questa soluzione permetteva anche una buona organizzazione del lavoro al riparo dalle intemperie; e infine migliorava la stabilità dei contrafforti, poggiandovi sopra, prima di allestire le volte, i pesi delle sovrastrutture, che così contribuivano, come abbiamo già visto, a ridurre le spinte. Ne riparleremo, comunque, esaminando l'organizzazione dei cantieri gotici.

È interessante osservare come Villard de Honnecourt, presentando dei modelli di armature, precisi più di una volta che si tratta di tetti "leggeri". Che questo termine venisse anche impiegato, in quell'epoca, per dire "facile" o "semplice", non fa che mettere in ulteriore evidenza quanto il costruire "leggero" rappresentasse un vantaggio e un progresso agli occhi dei gotici, per i quali il problema del sollevamento costituiva una "pesante" costrizione – possiamo ben dirlo anche nel linguaggio di oggi, dove il termine "pesante" ha mantenuto il suo significato di "difficile" o "faticoso".

A mo' di commento alla sua Tavola XXXIII, Villard de Honnecourt scrive: "Qui si può vedere un buon tetto leggero, da collocare su una cappella con volta". Il disegno raffigura un'armatura con catena rialzata, e, più sotto, lo schema di una centina: la capriata che vi è rappresentata è di un tipo che assicura una copertura del tetto facilmente maneggiabile, ma che rischia di deformarsi e di produrre spinte sugli appoggi; la rigidità del tetto, infatti, in mancanza d'una trave traversa ben piazzata, è legata prima di tutto a quella dei puntoni, che lavorano "alla flessione".

È certo che l'installazione di grossi pezzi di legno sopra dei muri non ancora collegati dalle volte non aveva nulla d'impossibile per i gotici, ma certo, alle altezze a cui essi non temevano d'innalzare le loro cattedrali, l'utilizzazione di elementi leggeri facilitava considerevolmente il lavoro dei carpentieri.

Così, la difficoltà di trovare del legname di grande sezione contribuisce a permettere ai gotici di alzare le loro volte fino ad altezze tuttora ineguagliate, mentre, nello stesso tempo, impone una nuova tecnica per l'armatura e costringe all'economia e all'utilizzazione di piccoli elementi in materia di centine e d'impalcature, opere provvisorie di carpenteria delle quali parleremo trattando dell'organizzazione dei cantieri.

La copertura

Durante il Medioevo, la maggior parte degli edifici, nelle campagne, erano coperti di stoppie, un tipo di coperture che sarebbe rimasto il principale fino a tutto il XIX secolo. Si trattava di una tecnica che permetteva un'interessante utilizzazione di un sottoprodotto dell'agricoltura. Soltanto a poco a poco e lentamente la tegola, nei paesi dove si poteva disporre del tipo di terra necessario per la sua

fabbricazione, le pietre piatte, scisti o ardesie, nelle regioni dove se ne trovavano (talvolta il piombo, quando si avevano i mezzi per ricavarlo), rimpiazzarono le stoppie, dapprima nei principali edifici pubblici e, in seguito, nelle case di abitazione privilegiate. Gli edifici militari furono per primi coperti con materiali "duri", giacché era impensabile lasciarli esposti ai proiettili incendiari lanciati dalle macchine da guerra. Anche le chiese, sempre a scopo di protezione contro gli incendi, vennero presto coperte in tale modo e, per cominciare, nelle città.

I romani, i merovingi e i carolingi impiegavano di solito il piombo per coprire gli edifici importanti. Anche gli antichi, d'altronde, ne facevano un grande uso, in particolare per le condutture e per i recipienti: ciò non era, tuttavia, senza pericolo per la salute, giacché i sali di piombo, soprattutto il carbonato di piombo, o biacca, sono tossici (l'uso della biacca per la pittura è vietato, in Francia, da una sessantina d'anni).

Diverse motivazioni poterono condurre a sostituire progressivamente il piombo con dei tetti a forte inclinazione coperti da tegole: da una parte, il piombo è assai pesante e può creare dei problemi, nel caso di armature leggere come quelle che utilizzavano i gotici; d'altra parte, una ragione legata al problema del legno può aver condotto ad abbandonare questo pur eccellente materiale.

Quando il piombo, infatti, viene posato su del legno che non sia stato perfettamente purgato della propria linfa per mezzo di una fluitazione o di una macerazione prolungata, la linfa può provocare, a contatto con il piombo, una formazione di biacca, che produce dei buchi nel metallo e porta ad un suo rapidissimo deterioramento. Ai nostri giorni, per evitare questo fenomeno, si interpongono degli strati di una carta speciale o di feltro tra il legno o il piombo: lo stesso viene fatto quando il piombo è posato sul gesso, un materiale che ha sul piombo gli stessi effetti del legno. Ma quando, nel XII secolo, il legname divenne sempre più raro e, in particolare, i dissodamenti e la cultura itinerante si opposero allo sviluppo dei grandi alberi, i cui fusti devono venire macerati per lungo tempo prima di essere tagliati, bisognò accontentarsi di legname in piccoli pezzi, che era difficile macerare senza che si deformassero: è verosimile che si siano avuti molti infortuni e che ciò abbia contribuito a frenare l'uso del piombo. Bisogna anche ricordare che il piombo, in Francia, era in gran parte un materiale di importazione: lo si estraeva in Gran Bretagna (nella Cornovaglia e nel Devon) e in Sardegna; senza contare le difficoltà che poterono essere legate alla situazione politica e all'antagonismo fra il re di Francia e il re d'Inghilterra dopo la conquista normanna, si può ricordare che, nel XIV secolo, vi fu una diminuzione delle miniere di piombo e di stagno, tanto in Cornovaglia e nel Devon, quanto in Sardegna[80].

[80] R.H. Bautier, *op. cit.*, p. 223.

In Francia, comunque, molti edifici furono coperti con il piombo: basta pensare che cento carri di piombo, destinati all'abbazia di Clairvaux, furono trasportati a Newcastle e, di là, caricati su battelli per Rouen[81].

Alcune di queste coperture hanno resistito per sei secoli: Viollet le Duc, ad esempio, riferisce[82] di aver visto ancora al loro posto, nel 1835, le coperture in piombo della cattedrale di Chartres, risalenti al XIII secolo, e descrive i sistemi con cui esse venivano collocate. Tali coperture vennero distrutte, poco tempo dopo, da un incendio.

Le diverse motivazioni che abbiamo riferito poterono certo combinarsi, così da rendere più difficile e più costosa l'utilizzazione del piombo, ma ad esse si aggiungevano delle ragioni tecniche: i tetti a grande pendenza, che corrispondevano alle armature leggere a piccole capriate, non si accordavano all'uso del piombo: tali forti pendenze, infatti, anche se le armature fossero riuscite a sopportare il peso del piombo, non convenivano certo a questo metallo, che può rimanere teso, senza piegarsi, soltanto su superfici poco inclinate.

Le coperture con elementi standardizzati, come le tegole, che sono prodotti cotti, o le ardesie, che sono invece prodotti estratti e tagliati, entrambi ignifughi, cominciarono quindi a prendere piede, e non soltanto in Francia.

Talvolta, come avvenne a Saint-Albans, dove si sa che gli ultimi abati sassoni recuperavano sistematicamente le tegole romane fra le rovine dell'antica città di Verulamium, vennero utilizzate anche delle tegole antiche.

In Francia, la copertura in tegole del tipo ereditato dai Romani si conservò per lungo tempo dopo la fine dell'epoca romana, e ben al di là delle regioni meridionali.

"Nell'architettura romanica, vediamo che per lungo tempo, anche al Nord, i tetti conservano un'inclinazione minima; soltanto verso la metà del XII secolo essi tenderanno ad assumere delle più forti pendenze"[83]. Il fatto è che ci si era resi conto degli inconvenienti, nonché del peso considerevole, del sistema di copertura ereditato dai Romani. La tegola che oggi si chiama spesso "tegola romana" è una versione semplificata, ma non alleggerita, del sistema romano: esso comportava due elementi complementari, le *tegulae* e gli *imbrices*. La tegola "canale", che in certe regioni viene anche chiamata con il nome fantasioso di "gambale di stivale", non richiede invece che un solo elemento standard, che viene collocato ora in un senso ed ora nell'altro. Le tenui pendenze in cui viene usata la tegola canale, che sta ferma grazie all'attrito contro i listelli o contro dei correntini molto stretti in contatto con il canale inferiore, sono poco adatte a

[81] T.K. Derry e M.G. Blakeway, *The making of early and medieval Britain*, Confand Wyman, London 1973.

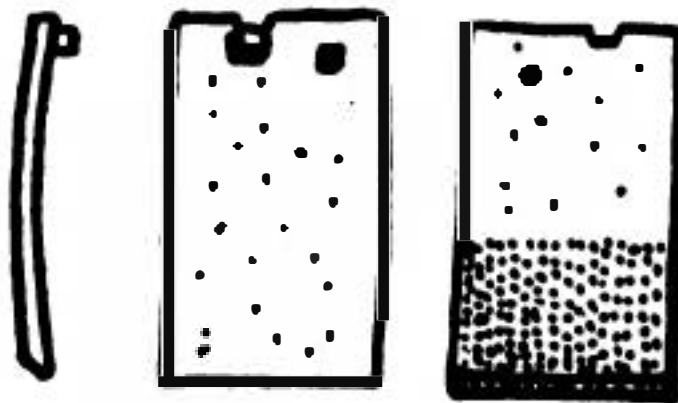
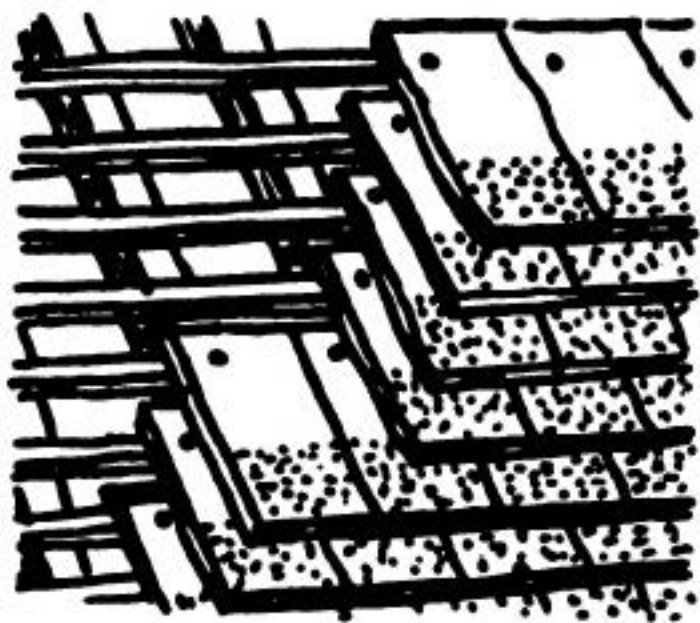
[82] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, VII, p. 211.

[83] *Ivi*, III, p. 3.

tollerare i cumuli di neve e possono lasciar risalire l'acqua quando sia spinta da un vento violento: ciò obbliga talvolta a ricorrere alla soluzione di un tetto con un'unica pendenza e può comunque favorire, nelle regioni poco soleggiate, una certa crescita di muschio. Inoltre, data la necessità di effettuare ampi ricoprimenti, e tenuto conto dello sviluppo delle superfici coniche che costituiscono le tegole, nonché delle notevoli travature indispensabili per sostenerle, è indubbio che queste tegole obbligano a fare delle coperture e delle armature assai pesanti, come anche, del resto, i tetti di scisti o di lastre di pietra sommariamente lavorate, in uso nelle zone di montagna. Nei paesi settentrionali ed in alta montagna, da secoli si coprono le case con sottili elementi, assicelli o listelli, di un legno che viene scelto fra i tipi più difficilmente putrescibili, come il larice: questi elementi, incavigliati e inchiodati, possono essere applicati su forti pendenze, e, addirittura, su pareti verticali. Si è pure ideato di realizzare delle tegole piatte di terracotta, verniciate o no, fissate semplicemente da un tenone sporgente o da un gancio, premodellato nello stampo, che impedisce alla tegola di scivolare, tenendola ferma su un listello di legno inchiodato su travicelli. Nel caso di pendenze superiori a sessanta gradi, le tegole vengono inchiodate attraverso un foro preparato prima della cottura. Il sistema delle tegole esige una prefabbricazione rigorosa, che è resa possibile da stampi standardizzati, proprio come si fa per i mattoni; esso richiede anche giacimenti di terra che si prestino alla cottura: rende inevitabile, insomma, una certa specializzazione dei trasporti e una sia pur minima attività industriale. Lo stesso discorso vale per l'ardesia sottile, la cui lavorazione, inoltre, non ha potuto svilupparsi che quando la tecnica e la strumentazione per il taglio sono state sufficientemente perfezionate. Questi tipi di copertura permettevano di alleggerire notevolmente l'armatura. È nell'XI e nel XII secolo che la tegola piatta comincia ad entrare nell'uso, in Borgogna, nel Nivernese e nella Champagne.

Sopra i tetti a forte pendenza, queste tegole potevano essere inchiodate mediante caviglie di legno o chiodi, grazie ad un foro preparato al momento della fabbricazione. La fabbricazione di alcune di queste tegole era particolarmente degna di nota. Ad esempio, quelle che in Champagne vengono chiamate "tegole del Conte Enrico", dal nome di colui che ne aveva imposto le norme e commercializzato la fabbricazione, avevano una forma particolarmente razionale: una lieve intaccattura permetteva al copritore di riconoscere al tatto, anche senza guardare, la direzione della tegola e di posarla con precisione, senza perdere tempo. Il foro di fissazione era quadrato, così da facilitare l'inserimento delle caviglie, ed era più largo nella sua parte inferiore. Il copritore poteva così cercare la posizione migliore per conficcare il chiodo o la caviglia, qualora avesse trovato un nodo del listello di legno, mentre la caviglia aveva anche qualche possibilità di gonfiarsi per l'umidità, senza per questo fendere la tegola.

Molte di queste tegole sono ancora utilizzabili ai nostri giorni: alcune sono pure smaltate, poiché la superficie liscia ed impermeabile dello smalto si oppone ai colpi e anche al crescere del muschio, che nuoce alla conservazione delle tegole ed accentua gli effetti del gelo.

Per ciò che concerne l'evacuazione delle acque, i gotici prendevano le precauzioni più minuziose, indispensabili nei climi piovosi e freddi dove si sviluppa questa architettura, al fine di evitare che le acque potessero lambire le facciate ed impregnare le pietre. Cornici a forte pendenza facevano deviare l'acqua, mentre grondaie molto ampie e spesso rivestite di piombo la raccoglievano al piede dei tetti; doccioni e tubi di scarico gettavano l'acqua lontano. Talvolta, sopra gli archi rampanti venivano sistemati degli acquedotti, che conducevano l'acqua verso dei tubi situati sopra i contrafforti: una soluzione ingegnosa, che utilizzava un elemento di struttura per una seconda funzione.

TEGOLE DEL CONTE ENRICO

1) Posa delle tegole

2) Veduta laterale di una tegola

3) Veduta da sotto

4) Veduta da sopra (in punteggiato la parte che di solito è verniciata)

Il cantiere gotico

DAL DISEGNO ALL'ESECUZIONE

A differenza di certi architetti del XX secolo, che dichiarano di "non doversi occupare di lavori idraulici", col rischio, talvolta, di lasciarsi confinare nel ruolo di artisti o di "ornatori", lasciando ai tecnici gli uffici di studio, il maestro gotico era, nello stesso tempo, architetto, ingegnere, capomastro e organizzatore del cantiere; né esitava, d'altra parte, ad affrontare dei lavori manuali in prima persona.

Se egli era un anziano scalpellino, pervenuto, grazie alle proprie particolari capacità, al livello superiore di coordinatore e maestro di cantiere, riservava a se stesso, talvolta, certe sculture delicate e importanti, o particolarmente in vista, salvo a farsi aiutare da operai esperti. Se invece era un ex-carpentiere, egli poteva essere spinto a intervenire di persona in opere di carpenteria difficili o decorative.

Ciò può sorprendere, tenuto conto della nostra odierna mentalità che stabilisce una netta divisione fra i lavoratori manuali e gli "intellettuali": ma, per il maestro del Medioevo, la cosa era del tutto naturale. Anche ai nostri giorni, del resto, un Le Corbusier si definisce insieme un pittore e uno scultore; altri architetti cercano di non chiudersi in un ambito dove non si sentono sufficientemente in presa diretta con la realtà e con la materia: Frank Lloyd Wright costruiva, insieme ai propri allievi, la sua scuola di architettura. E, nel quadro dell'idea ecologista, si trovano in tutto il mondo degli architetti di ogni età che partecipano personalmente, a differenti livelli, almeno alla costruzione di prototipi o di realizzazioni personali, senza per questo aver l'impressione di agire in modo eccezionale. Non vi è, d'altra parte, scuola migliore di quella della realtà, quale che

sia la tecnologia: i nostri giovani architetti, come i loro predecessori gotici, che venivano dalla gavetta, dovrebbero tutti fare dei corsi di preparazione dentro i cantieri, partecipando direttamente al lavoro, come già fanno, del resto, i loro confratelli cinesi. È stato addirittura proposto, per i paesi in via di sviluppo, che degli "architetti a piedi nudi" insegnino, alle popolazioni prive di mezzi, come utilizzare al meglio le possibilità e i materiali locali per costruire[1].

È un po' in questo modo, sforzandosi cioè d'impiegare al meglio possibile ed economicamente i mezzi, la mano d'opera e i materiali locali e partecipando direttamente alle attività di cantiere, che l'architetto gotico concepiva il proprio lavoro. D'altronde, per poter far fronte al compito difficilissimo che lo impegnava, questo maestro veniva aiutato, proprio come l'architetto dei nostri giorni, da collaboratori o conduttori dei lavori, che vegliavano affinché la sua concezione fosse riprodotta fedelmente e la realizzazione fosse "uguale" al modello o ai disegni. Costoro venivano chiamati *appareilleurs*, apparecchiatori: e questa parola, del resto, si apparenta probabilmente a termini come *parlieur* o *parlier* (*pareilleur*?), che talora sono stati intesi come designanti colui che "parlava" agli operai. Ma di quale utilità, per un maestro che lavorava dentro il cantiere mescolato agli altri operai, sarebbe potuto essere un tale interprete, salvo nel caso di cantieri in terra straniera? Questo collaboratore – l'apparecchiatore – che poteva essere destinato a diventare un giorno a sua volta architetto, e poteva talvolta essere tanto competente come il maestro, viene di solito raffigurato con in mano un grandissimo compasso (generalmente a settore circolare), che mostra come egli fosse incaricato di segnare i tracciati in dimensioni reali sulle pietre e non su piante, mentre il maestro appare in genere con un piccolo compasso a puntasecca da disegnatore. Il maestro architetto, talvolta, è anche raffigurato con in mano una grossa bacchetta – la *virga* – per mezzo della quale, come gli architetti del XIX secolo fanno con il loro celebre parapioggia, doveva dare, disegnando sugli strati di gesso, sulla pietra o sul terreno, le indicazioni di cantiere per completare le piante o i modelli. Ma ciò che era degno di critica presso gli architetti-artisti del secolo scorso – la cui razza non si è ancora esaurita – ciò che era in loro la conseguenza di un certo lasciar fare, di una mancanza di organizzazione preliminare che lasciava troppo spazio all'improvvisazione, si giustificava invece per l'architetto gotico: le piante erano poche e scarsamente esplicite, gli operai erano analfabeti; bisognava che il maestro in persona si preoccupasse affinché tutti i dettagli fossero via via eseguiti secondo la sua concezione, e questo lo obbligava ad una presenza e ad una partecipazione continua sul lavoro. Ma egli doveva anche materializzare la propria concezione e fare in modo che le proprie intenzioni e il proprio "disegno"

[1] M. Ragon.

fossero comunicabili agli esecutori. Non sempre vi riusciva mediante un vero e proprio disegno. Non che egli non sapesse disegnare, ma difficoltà puramente materiali gli impedivano di stabilire, come si fa ai nostri giorni, delle serie di piante che comportassero tutti i dettagli e di distribuirle agli esecutori; da una parte, non esistevano mezzi meccanici pratici per riprodurre le piante in molti esemplari: era necessario copiarle; d'altra parte, non si poteva disporre, come oggi, di grandi fogli di carta da ricalco: si finiva col fare certi disegni su strati di gesso o su tavole di legno.

Si disponeva soltanto, per far da supporto alle piante, della pergamena, un materiale costoso le cui dimensioni erano ristrette e la cui planimetria era relativa. Grazie alla selezione delle razze dei montoni, si arrivò, in quest'epoca, ad avere delle pelli più larghe; ma soltanto con l'invenzione della carta di stracci (la cui fabbricazione fu una delle numerose applicazioni dei mulini ad acqua) si potè dare, nella seconda metà del XIII secolo, una soluzione al problema. Lo sviluppo della stampa, la cui invenzione avvenne poco tempo dopo, sarebbe stato d'altronde inconcepibile senza un supporto sufficientemente economico che permettesse l'impressione di un gran numero di esemplari.

Noi siamo talmente abituati ai diversi procedimenti di riproduzione attuali che facciamo fatica a renderci conto che i primi procedimenti pratici di riproduzione di disegni per i cantieri, le copie cianografiche, sono apparsi soltanto all'inizio del XX secolo. Fino ad allora, i capitolati d'appalto – ne ho avuti fra le mani alcuni esemplari – precisavano che i capomastri dovessero far ricopiare i disegni originali messi a loro disposizione presso l'architetto: su questo punto, si era ancora praticamente nell'epoca gotica...

L'uso degli occhiali, che avrebbe potuto permettere ai maestri e agli esecutori di disegnare e di leggere le piante, anche se la loro vista fosse stata cattiva o indebolita per l'età, non si era ancora diffuso: gli occhiali, infatti, sarebbero stati inventati soltanto verso la fine del XIII secolo.

L'uso del vetro cominciava appena a diffondersi nella costruzione privata: ne segue che, per la ridotta superficie delle finestre, che dovevano essere protette, in caso d'intemperie, da imposte opache, non era pratico disegnare all'interno di una casa, con qualunque tempo ed anche di giorno.

L'illuminazione artificiale, infine, era carente, e questo complicava non poco il lavoro dei maestri, che erano uomini di cantiere, insieme capomastri e ideatori, e dovevano avere molto poco tempo libero per disegnare durante il giorno.

Si può capire, per i tanti motivi che abbiamo elencato, come non fosse neppure pensabile fare delle piante complete, numerose e dettagliate, quali avrebbe richiesto un edificio così importante come una cattedrale, soprattutto se si fosse dovuta fare la pianta della maggior parte delle pietre necessarie alla costruzione, anche senza tener conto delle ripetizioni.

I metodi dei maestri, scrive J. Harvey[2], "mostrano un grande sforzo di economizzare il tempo, poiché nelle istruzioni si ha l'indicazione della sola metà di una facciata, di una sola copia di *trumeau* o di finestra scolpita, di un solo scomparto di un modello di volta. Questa, almeno, era la loro abitudine per i disegni di esecuzione". Bisogna aggiungere, a questo proposito, che la semplificazione e la riduzione del numero dei disegni erano considerevolmente facilitate dalla sistematica standardizzazione sviluppata dai gotici.

Ma, per meglio esplicitare le loro intenzioni – che su figure a due dimensioni non appaiono sempre chiaramente a coloro che non sono esperti nella lettura di piante – i maestri dell'epoca utilizzavano largamente la tecnica dei "modelli": venivano preparati, cioè, dei modelli in legno, con esatte dimensioni, delle pietre da tagliare, e gli scalpellini, spesso già nella cava, li riproducevano. Diventava quindi molto importante riuscire a ridurre al massimo il numero dei modelli, soprattutto a partire dal momento in cui la prefabbricazione nella cava si andava facendo, per differenti ragioni, una pratica corrente. Una rigorosa standardizzazione, pertanto, si imponeva ugualmente per motivi che riguardavano il modo di figurazione degli elementi progettati. Nel caso di quelle parti di costruzione per le quali, tenuto conto delle loro dimensioni, non era possibile fare modelli a grandezza reale, gli architetti gotici erano obbligati ad adottare un sistema compatibile con i loro mezzi: era impossibile avere numerose piante e non le si poteva classificare in rapporto ad una unità di misura fissa: bisognava quindi trovare un mezzo semplice per riuscire ad ingrandire, senza tradirli, i disegni in piccola scala o i modelli ridotti di elementi della costruzione. I maestri ricorrevano per questo ai disegni facili da riprodurre col compasso o con la corda, o a figure geometriche assai semplici da tracciare: il cerchio e le figure da esso derivabili, come il triangolo equilatero, l'angolo retto, il quadrato e i diversi rettangoli...

Così, la relazione fra la base e l'altezza di una facciata veniva spesso stabilita mediante proporzioni semplici, ricavabili ad esempio dal quadrato (altezza uguale alla base) o dal triangolo (altezza uguale a quella del triangolo equilatero costruito sulla base). Sembra che per le disposizioni sul terreno (le piante) che, per ciò che concerne le cattedrali, erano relativamente semplici e seguivano dei modelli conosciuti nelle loro grandi linee, ci si limitasse a disegni in piccola scala, di cui venivano riprodotte le proporzioni in scala "grande" direttamente sul terreno.

Villard de Honnecourt ha disegnato, nel suo quaderno di schizzi, tutta una serie di figure sulle quali sono sovrapposti dei tracciati geometrici: stelle più o meno deformate, triangoli, curve parallele, raggi, ecc. che collegano dei punti importanti. Ci si è domandato quale fosse il senso di questi tracciati, ed alcuni

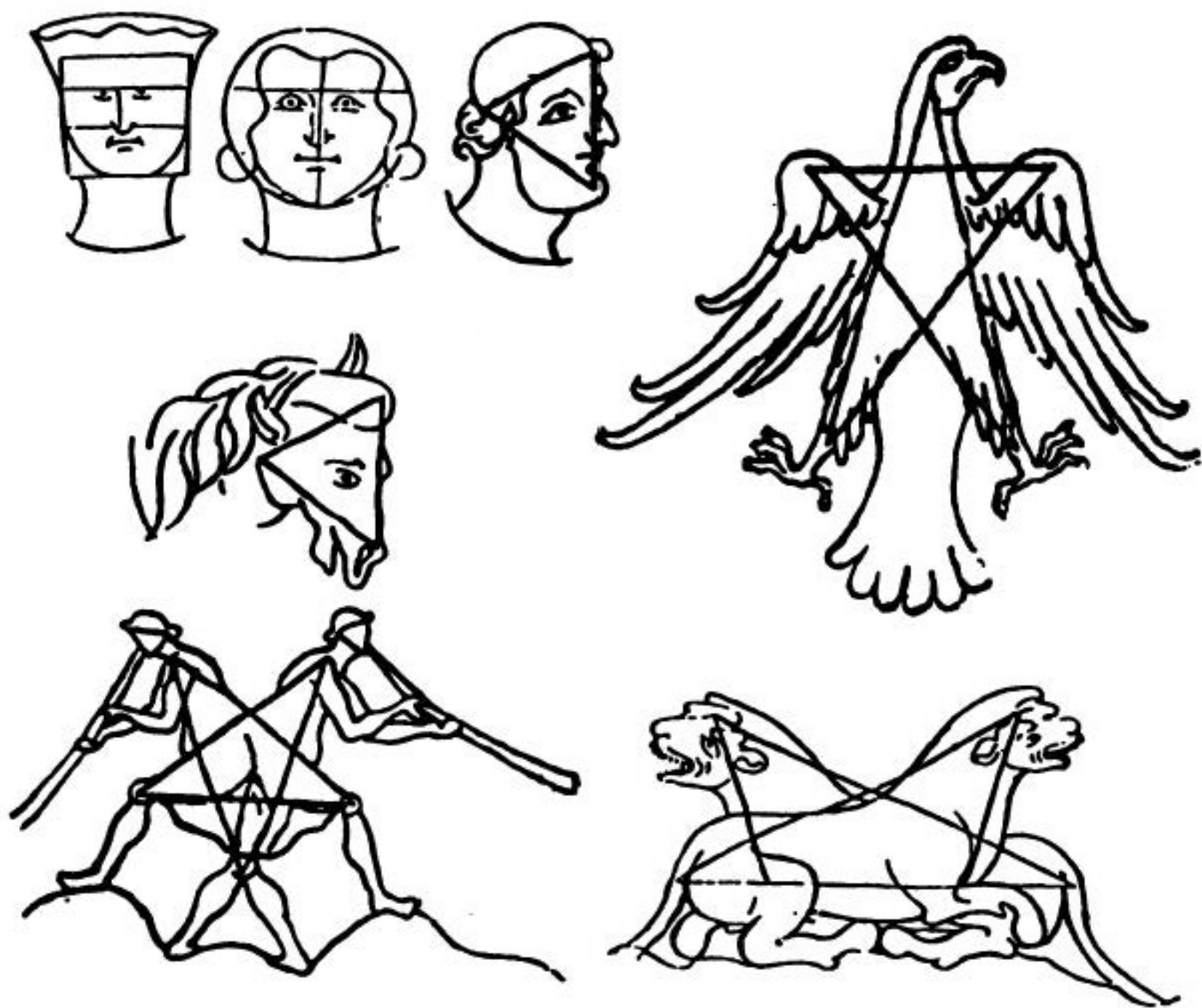
[2] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 57.

hanno creduto di trovarvi argomento per affermare che Villard de Honnecourt era un adepto delle dottrine esoteriche, da cui traeva certi schemi, come la sezione aurea o il pentagono sacro... Che ne dice, tuttavia, lo stesso Villard? Si tratta di figure "per operare leggermente", cioè "per lavorare facilmente": ciò conferma, a mio parere, che non si tratta che di strumenti comodi per riprodurre in grandezza reale, sulle pietre da scolpire, il disegno previsto. Ai nostri giorni, si ha l'abitudine di applicare sopra un disegno una griglia con maglie quadrate regolari, che poi, riprodotta su più grande scala, permette di trovare tutti i punti del disegno. Ma, da una parte, un tale procedimento si applica soprattutto ad un disegno piano, mentre non è facile usarlo per un'opera a tre dimensioni come una scultura o un modello (in rilievo); gli scultori di oggi, come nell'epoca gotica, continuano del resto a lavorare con un compasso; d'altra parte, un disegno a griglia può essere facilmente riprodotto in un'altra dimensione, senza neppure fare ricorso ad una griglia più grande, grazie ad uno strumento così diffuso, che tutte le copie cianografiche di lavoro comportano, per esso, una tasca speciale: il metro pieghevole. Questo strumento di misura universale non esisteva per i costruttori gotici: "I verbali dei convegni, tenuti fra architetti di diverse nazioni a proposito del compimento della cattedrale di Milano, contengono numerose allusioni alla tecnica di stabilire le proporzioni con l'aiuto di triangoli"[3].

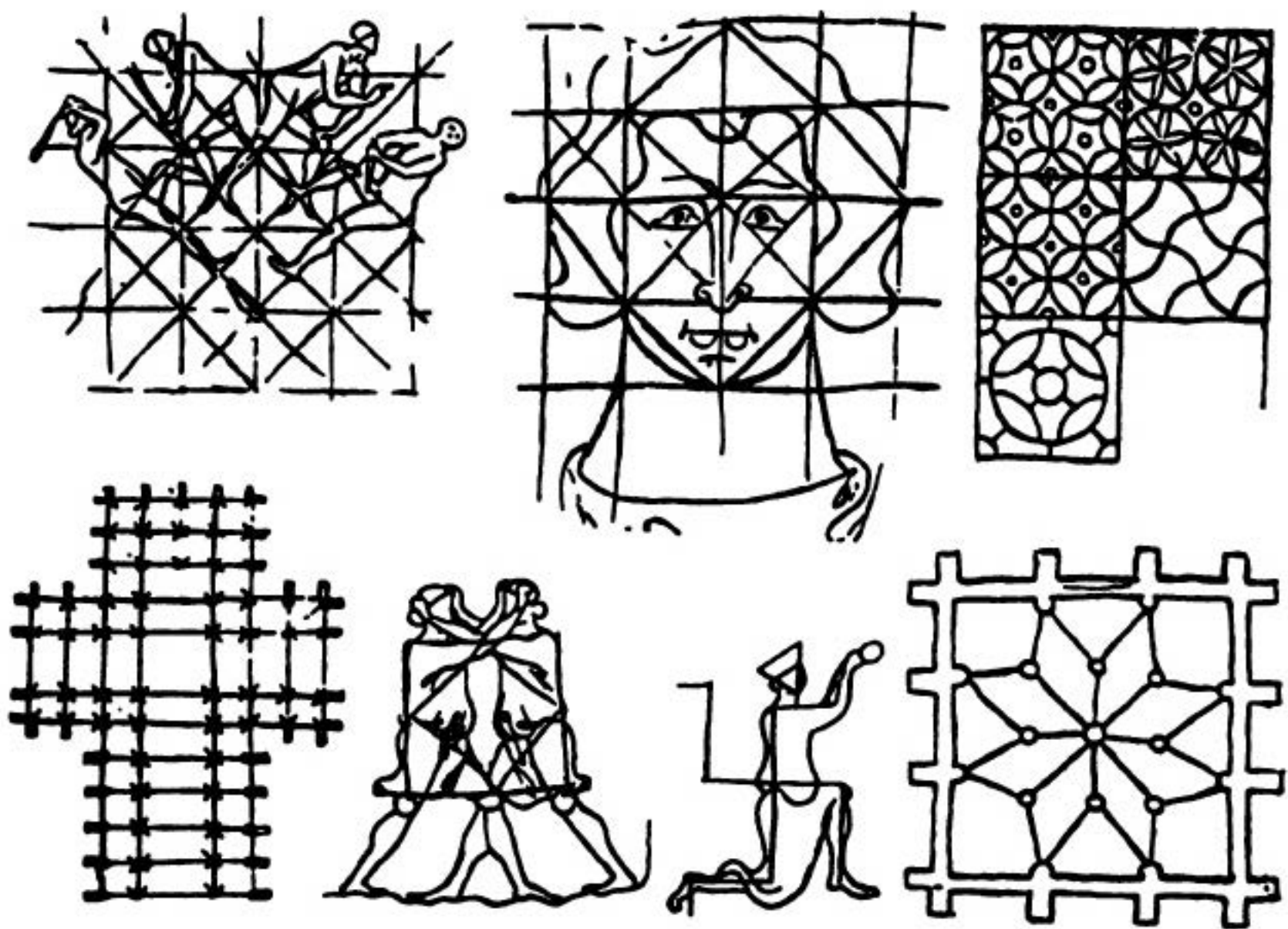
È proprio questo, in effetti, il sistema più semplice e più preciso, tale da non richiedere alcun impiego di squadra o di goniometro, ma solamente l'uso del compasso, sul disegno, e di corde tese, sul cantiere (cfr. figure p. 206 e 209).

Durante il XIV secolo, si parlava correntemente di metodo "al quadrato" e di metodo "al triangolo" per il passaggio dalla pianta all'elevazione: è probabile che questi metodi risultassero da una messa a punto avvenuta nel corso dei decenni anteriori. Ci si può domandare, d'altra parte, che cosa significhi l'espressione "ricavare l'elevazione dalla pianta" che troviamo ripetuta da molti autori per far risaltare il segreto che veniva osservato sui metodi dei costruttori di quell'epoca. Grazie alla geometria descrittiva, si può assicurare la concordanza fra elevazione e pianta, ma non si "ricava", dalla pianta, l'elevazione: queste rappresentazioni devono essere concordanti fra loro e sono interdipendenti, ma ognuna è concepita a suo modo: esse non si deducono l'una dall'altra: si può avere, su una pianta quadrata, una elevazione costruita a partire da triangoli. Pertanto, il senso di questa espressione deve forse indicare soprattutto il passaggio dalla pianta – cioè dal disegno su un foglio piano – all'elevazione, cioè alla costruzione realizzata in elevazione; in altre parole, si tratterebbe essenzialmente di assicurare la concordanza del disegno e dell'esecuzione. Proprio in questo senso noi abbiamo mostrato la necessità dei tracciati geometrici, che possono utilizzare eventualmente dei quadrati o dei triangoli o entrambi gli

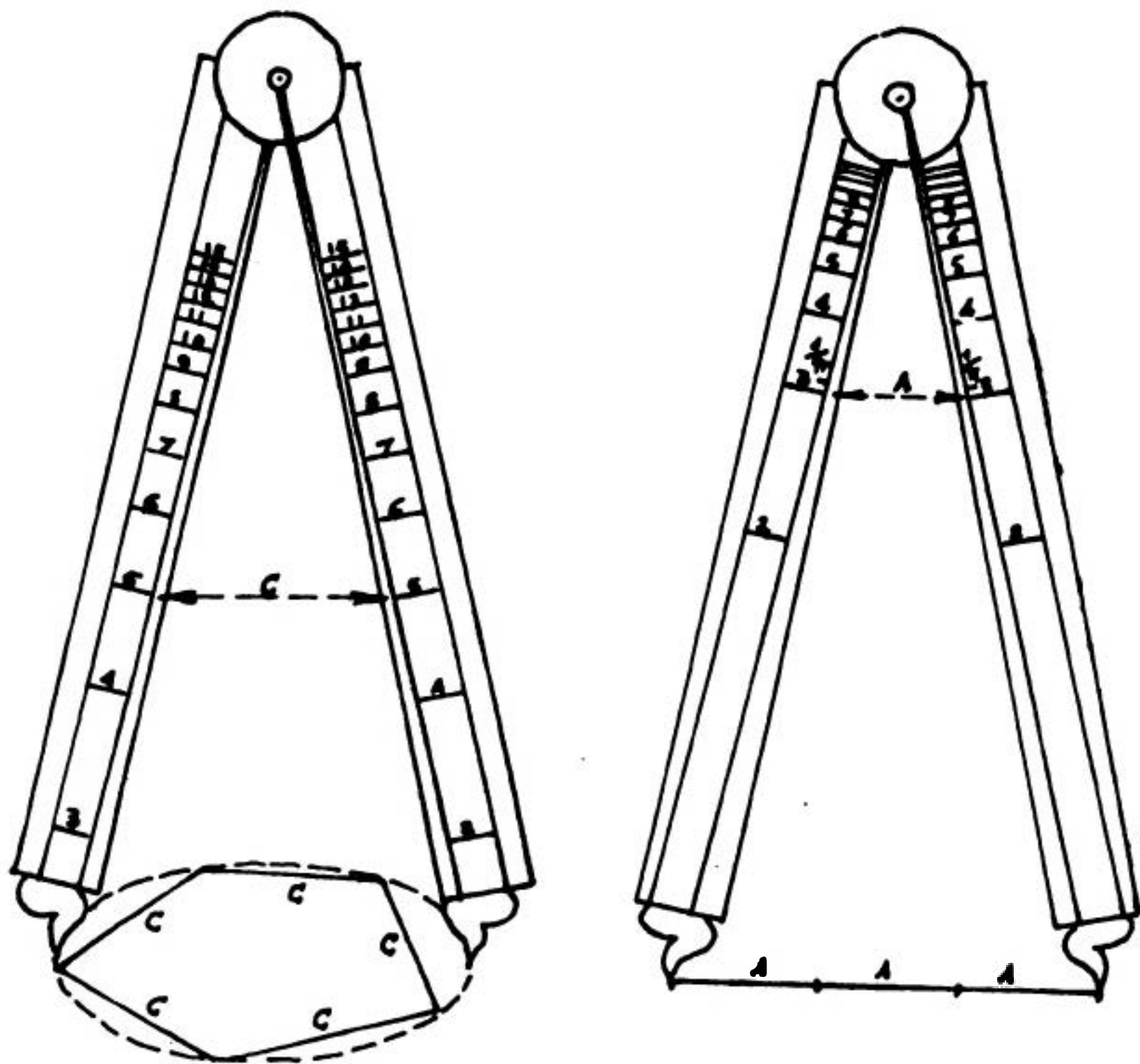
[3] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 406.

schemi. È più facile, tuttavia, tracciare dei triangoli equilateri che non dei quadrati: così come, nella statica, lo schema triangolare assicura l'indeformabilità, i metodi di disegno basati sui triangoli equilateri permettono più facilmente la precisione: il quadrato richiede sia molte linee di compasso incrociate, sia l'impiego della squadra e dell'archipendolo, con tutta l'imprecisione che è inevitabilmente connessa all'uso di questi strumenti, quando si tratta di misurare grandi dimensioni. In quel tempo, infatti, non si conosceva ancora né il teodolite né la livella ad acqua, che permette di assicurare ad una costruzione la medesima altezza per distanze abbastanze lunghe. Soltanto il filo a piombo permetteva di assicurare la verticalità nel caso di altezze molto grandi. Al contrario, partendo da una base (orizzontale o verticale), il procedimento fondato sui triangoli equilateri garantisce, mediante due tratti di corda, di effettuare il disegno di un terzo punto con estrema precisione, con un metodo che corrisponde al lavoro col compasso su una superficie piana. Nel 1521, Cesare Cesariano, nella sua edizione di Vitruvio, spiega l'elevazione della cattedrale di Milano con l'aiuto di triangoli e scrive che si tratta della "symmetria germanica", un'espressione che, per un italiano, significa il metodo gotico.

Alcuni schemi e tracciati geometrici "per operare leggermente" di Villard de Honnecourt.

Ancor oggi, nei piccoli cantieri, per verificare la squadratura fra due direzioni, si utilizza il triangolo 3-4-5, applicazione del teorema del quadrato dell'ipotenusa (9+16 = 25). Ho conosciuto sul lavoro, verso il 1972, un capo cantiere non particolarmente ottuso, ma a tal punto penetrato dall'aspetto "magico" di questo sistema, che mi dichiarò di non poter tracciare un angolo retto con precisione, poiché il vano nel quale gli avevo chiesto di procedere ad una verifica misurava meno di quattro metri nel suo lato più lungo; mi ci volle molto tempo per riuscire a fargli ammettere che si potevano prendere 3,20 m (4×8) e 2,40 m (3×8) per verificare che il terzo lato misurasse proprio 4 m (5×8) e che l'angolo fosse di 90°. Si vede, da questo esempio concreto, come il vantaggio garantito ai costruttori da uno schema di misurazione fisso possa finire col ridurre la facoltà di pensiero geometrico e l'attitudine a ragionare secondo le proporzioni.

Le piante di oggi (con questo termine intendiamo riferirci a qualunque riproduzione dell'edificio su una superficie piana, che essa riguardi piani, spaccati o forme verticali) sono sempre fatte secondo scale precise e in rapporto ad unità di misura stabili di cui si dispone, mentre i gotici non avevano tali possibilità. È molto significativa, in questo senso, l'abitudine degli odierni architetti i quali, a differenza dei geometri o degli ingegneri che per le scale si servono sempre delle frazioni, preferiscono parlare di piante "a un centimetro per metro" o " a

Tracciati e piante secondo schemi geometrici, in relazione con diversi disegni di Villard de Honnecourt.

cinque centimetri per metro", piuttosto che dire "la pianta 1/100" o "la 1/20": ciò fa ricordare l'epoca, neppure troppo lontana, in cui le misure non erano decimali. Le abitudini degli inglesi, d'altra parte, lo confermano: essi parlano, infatti, di scale di "un pollice per iarda" o di "un pollice per miglio", e raramente di scale in frazioni semplici.

Durante l'epoca gotica, gli strumenti essenziali di riproduzione erano la puntasecca, quel compasso che si vede raffigurato così sovente nell'iconografia tra le mani dell'architetto, ed il compasso da aiutante, un enorme compasso a settore curvo che appare invece fra le mani dei collaboratori del maestro, incaricati di riprodurre a grandezza naturale la sua concezione. Per ingrandire, si moltiplicava per *n* volte e lo schema triangolare era il mezzo più veloce e la più sicura garanzia di fedeltà al modello: non dimentichiamo che, con una mano d'opera

Il compasso di Guidobaldo Del Monte (XVI sec.), perfezionato da Galileo, permetteva, ad esempio, di ottenere direttamente i lati di un poligono inscritto, conoscendo il diametro del cerchio (figura di sinistra), o di dividere o moltiplicare una lunghezza per n volte (figura di destra). Tale strumento poteva anche dare il diametro di un cerchio, conoscendo la sua circonferenza (numero π) o inversamente.

che spesso non sapeva né leggere né scrivere, non sarebbe stato pensabile contrassegnare con precisione i disegni, anche se si fosse potuto disporre di misure fisse. Con la puntasecca, l'ideatore disegnava uno schema dei punti essenziali sulla figura – sia che si trattasse di un elemento di costruzione, di una facciata o di una scultura (poiché, infatti, gli scalpellini erano anche, a seconda della loro qualifica e delle loro attitudini, gli scultori).

Gli esecutori non avevano che da riprodurre lo schema nella grandezza reale, per ritrovare i punti e le linee principali, senza errore di proporzione. All'interno di questi canovacci, d'altra parte, essi disponevano sovente di una certa libertà di esecuzione, che apportava, dentro il quadro rigoroso imposto alla costruzione, una nota di varietà nel trattamento degli elementi di dettaglio.

Quanto al compasso da aiutante, esso permetteva non soltanto di riprodurre una figura secondo dimensioni due volte o dieci volte più grandi, ma anche – ed è un punto sul quale, forse, non si è finora prestata attenzione – di riprodurre angoli di qualunque ampiezza, grazie al settore curvo che permetteva l'individuazione dell'angolo e l'arresto dello strumento su una certa apertura, come fa oggigiorno la "cavalletta" o falsa squadra. Si trattava di uno strumento dai molteplici fini e notevolmente adatto al cantiere gotico. Un tale compasso, inoltre, permetteva di risolvere una grande quantità di problemi matematici, proprio come il compasso a settore, inventato (o forse soltanto perfezionato) da Galileo nel XVI secolo[4].

Bisogna rilevare, d'altra parte, il perfetto adattamento e la "versatilità", per impiegare il termine inglese, degli apparecchi e degli strumenti dell'epoca. Ad esempio l'archipendolo, uno strumento di cui esistono differenti forme e che combina la squadra e il filo a piombo, aveva molteplici fini, poiché permetteva non soltanto, come le nostre fragili livelle a bolla, di mettere a piombo o di livellare, ma anche di seguire una pendenza determinata: era sufficiente, a questo scopo, controllare e segnare il passaggio del filo sulla base. Questo strumento venne anche utilizzato, dopo l'invenzione dell'artiglieria, per puntare i cannoni.

Le livelle normalmente usate dai costruttori gotici erano delle livelle a piombo di diversi tipi: si effettuava la misurazione facendo coincidere il filo a piombo con un contrassegno sullo strumento che, spesso, poteva anche servire da squadra.

Ma erano già in uso, allora, certe forme di livelle ad acqua, come quella che Vitruvio descrive con il nome di "corobate", nella quale l'acqua si trova in una scanalatura a cielo aperto: questo strumento, egli spiega, permette di effettuare la misurazione del livello anche quando vi è il vento, che tende invece a spostare i piombi delle normali livelle. Vitruvio osserva che questo strumento è esatto...

[4] S. Drake, "Galileo and the first mechanical computing device", in *Scientific American*, 4-234, aprile 1976, p. 104.

anche se si crede, come Archimede, che la terra è rotonda, poiché in tal caso, egli dice, la superficie dell'acqua (che sarebbe, allora, non più piana, ma curva) sarebbe comunque simmetrica in rapporto alle estremità dello strumento[5].

Un altro strumento, riprodotto su una vetrata di Chartres, ha incuriosito gli archeologi, che sembrano non aver compreso a che cosa servisse: si tratta di una squadra, uno dei cui bracci è di forma curva. Io penso che un tale strumento potesse avere parecchie funzioni: esso poteva permettere di determinare l'inclinazione degli strati dei conci o dei cunei in rapporto alla curva dell'arco (e la standardizzazione delle curve facilitava, e rendeva anzi necessario, l'impiego di un tale strumento); esso poteva anche permettere di sistemare progressivamente dei cunei lungo un arco a partire da una base, nello stesso modo con cui si opera per un muro diritto con la squadra. Si può confrontare questo strumento con un disegno di Villard de Honnecourt (Tav. XXXVIII) che mostra come tagliare la pietra di base da cui si origina una nervatura o una volta. Villard ha raffigurato una squadra, ad uno dei bracci della quale sembra congiunto un regolo curvo; questo disegno fa pensare allo strumento della vetrata di Chartres, che riuniva in uno ciò che, per Villard, richiedeva l'uso di due strumenti.

Ci si è anche interrogati sulle possibili funzioni del compasso a bracci curvi e incrociati che si vede al piede di Hugues Libergier, architetto di Saint-Nicaise, su una pietra tombale della cattedrale di Reims, e che si può anche osservare sopra uno stallo della cattedrale di Poitiers. Questo compasso è stato considerato da alcuni un compasso di riduzione, ma Pierre du Colombier, che riproduce i due esempi, ha giustamente rifiutato questa interpretazione[6].

La mia ipotesi è che si tratti di uno strumento particolarmente comodo per gli architetti gotici: esso permette infatti, se lo si utilizza in piano sul foglio e non come un compasso classico (dal quale lo differenziano le sue parti arrontondate), di tracciare tutti gli archi a sesto acuto che si vogliono, alla medesima scala e con il medesimo raggio, in modo da poter così rispondere esattamente all'esigenza di standardizzare le curve che si ritrova dovunque e, in particolare, nel disegno di Villard de Honnecourt a cui abbiamo già fatto riferimento: questo strumento sarebbe stato, insomma, un assai ingegnoso normografo o... "parrocchetto" articolato, come viene esplicato nella figura di p. 248.

Nonostante i mezzi sommari di cui potevano disporre per impiantare i loro edifici, prendere gli allineamenti, assicurare i livelli orizzontali e l'appiombo verticale (e tutto ciò attraverso fasi diverse di lavoro, nelle quali si faceva appello a maestri operai successivi, senza legame gli uni con gli altri, che ricevevano delle direttive generali, delle prescrizioni e dei piani di insieme, ma non certo piani completi d'esecuzione, numerosi e fatti secondo tutte le scale desi-

[5] Vitruvio, *De Architectura Libri.*

[6] P. du Colombier, *op. cit.*, p. 90.

derabili), i costruttori gotici riuscivano a lavorare – così sembra, sulla base degli esempi che sono stati rilevati – con una grandissima precisione. Essa dipendeva principalmente dal loro senso della geometria e dai loro metodi di messa in opera fondati su figure e proporzioni semplici disegnate col compasso e con la corda.

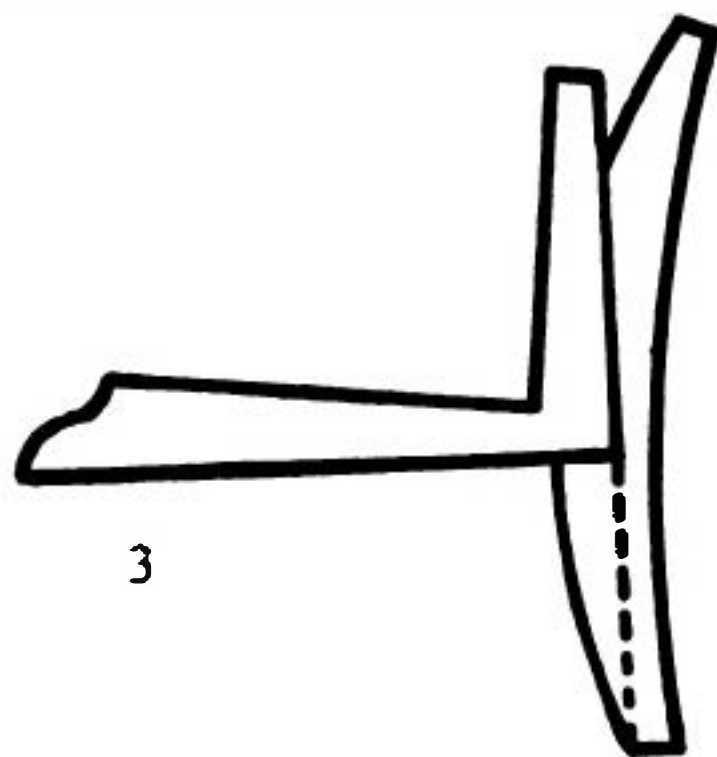
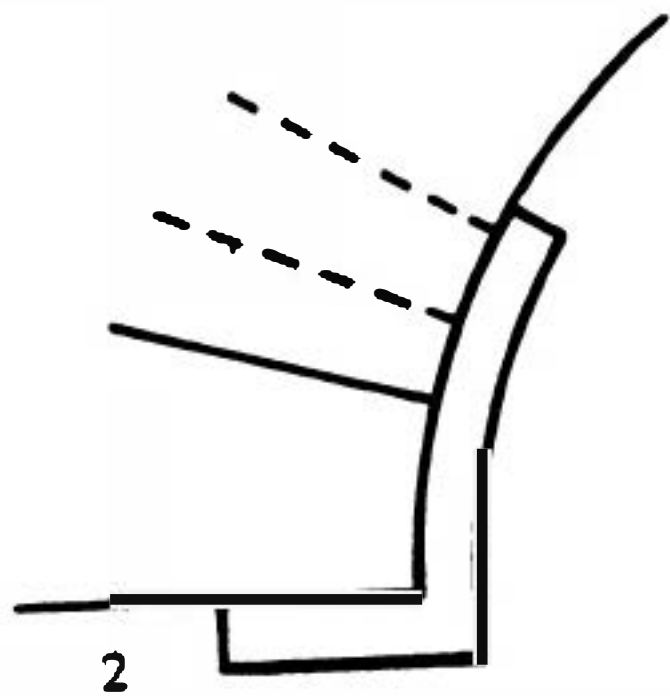
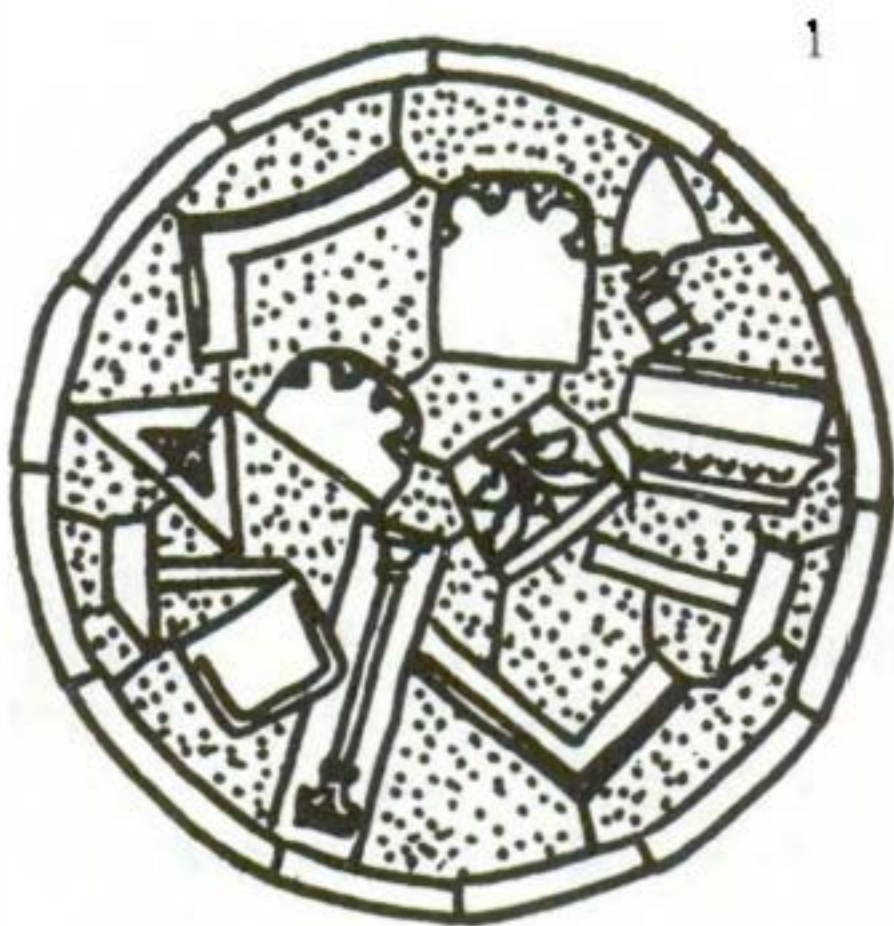
"Nel Medioevo come oggigiorno, scrive John James, un architetto australiano che abbandonò il suo lavoro per consacrarsi per anni allo studio minuzioso della cattedrale di Chartres[7], i costruttori erano degli uomini competenti e scrupolosamente precisi. Essi producevano delle opere con una tolleranza inferiore a un pollice, cioè a circa 25 mm [...]. Ho studiato numerosissimi elementi ed ho potuto stabilire la media delle opere tagliate per la costruzione. Ad esempio, i pilastri del triforio dell'abside misurano fra i 3681 e il 3719 mm, cioè con una variazione di +19 mm, la maggior parte degli scarti verticali sono minori di +30 mm e pochi superano questo limite: i contrafforti della navata variano da 2802 a 2836 mm, con una variazione di +17 mm, ecc.".

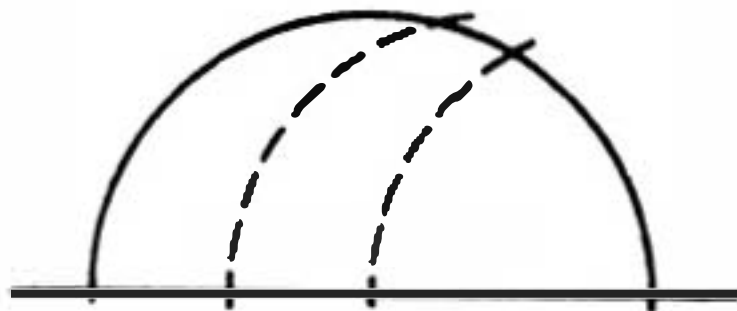
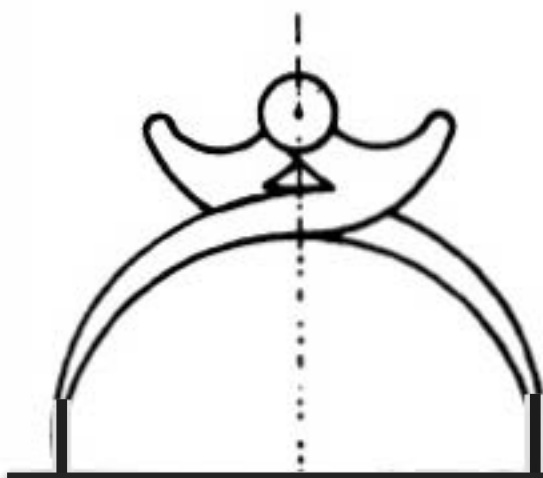
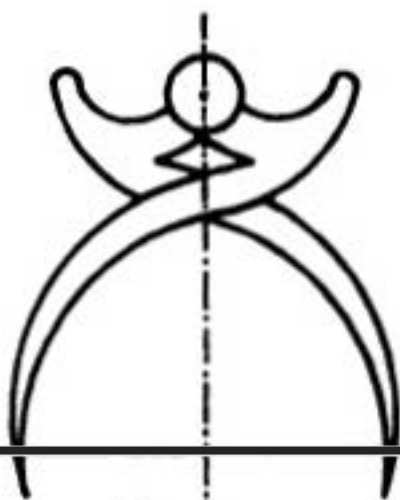
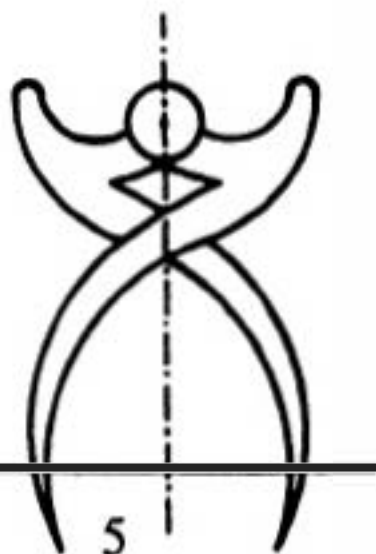
Un problema particolare si presentava ai costruttori gotici: quello della durata della costruzione. Poiché, infatti, le cattedrali erano, generalmente, l'opera di molte generazioni, la concezione d'insieme doveva essere trasmessa, a partire da coloro che facevano le fondamenta, fino a coloro che ultimavano la costruzione.

Questa trasmissione si faceva indubbiamente grazie a un certo numero di disegni, ma gli errori più gravi, tuttavia, erano evitati per mezzo di un corpo di tradizioni empiriche che sostituivano i calcoli di resistenza, sconosciuti in quell'epoca, e permettevano di stabilire le altezze, le larghezze, gli spessori degli elementi portanti, i pieni e i vuoti, le sezioni dei pilastri ecc., nel quadro di un certo numero di rapporti e di proporzioni. Il piano d'origine e le sottostrutture determinavano già tutta la costruzione. Ma, ovviamente, poteva capitare che le concezioni cambiassero o che si trovassero dei metodi per alleggerire, per ridurre le spinte e per trasferirle. Capitava anche che dei successori non rispettassero le previsioni dei primi costruttori e fossero troppo audaci. Talvolta, anche, si riusciva a correggere gli errori (aggiungendo, ad esempio, nuovi archi rampanti, oppure ricaricando certi pilastri per trasferire le spinte verso il centro di una base di sostenimento).

L'ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI

I gotici, desiderosi di fare il massimo con i mezzi di cui potevano disporre, e messi di fronte a problemi che i loro predecessori non si erano posti – volumi di

[7] J. James, *op. cit.*, I, p. 32.

1) Vetrata di Chartres: strumenti di muratore (sagome per nervature, modello di capitello, cazzuola, testa di pilastro, martelli, squadra, disegno di colonnetta, angolo, livella a filo e squadra, sagoma a braccio curvo)
2) Ipotesi di utilizzazione della squadra curva
3) Disegno di Villard de Honnecourt: taglio della pietra di base di un arco con l'aiuto di una sagoma e di una squadra a 90°

costruzioni considerevoli, edifici di grandissima altezza, immense aperture d'illuminazione, navate sempre più larghe, carichi concentrati e considerevolmente accresciuti sulle fondamenta, forze del vento, ecc. – nonché, nello stesso tempo, a problemi di mano d'opera e a difficoltà di approvvigionamento dei materiali, si resero conto dell'importanza di organizzare razionalmente i cantieri. Viollet le Duc, facendo un raffronto con i metodi della propria epoca, quando molte decisioni venivano prese direttamente sul posto, è pieno di ammirazione per la mi-

IPOTESI DI UTILIZZAZIONE DELLO STRUMENTO DI LIBERGIER

1) Pietra tombale di H. Libergier a Reims (da R. Oursel). A destra il "compasso".

2) Come tracciare tre archi con la stessa apertura a compasso (= il raggio), da Villard de Honnecourt (cfr. Tav. XXXVIII di Lassus).

3), 4) e 5) Tracciato di 3 archi con il medesimo raggio, disegnati con l'aiuto dello strumento di Libergier.

nuziosa capacità di previsione dei gotici. Oggi noi non lo siamo di meno: questa maniera di procedere, in effetti, è molto vicina a quella che è divenuta indispensabile con le tecniche attuali, in tutti i cantieri di qualche importanza, ma che noi possiamo assai più facilmente applicare, con i mezzi di disegno, di calcolo e di riproduzione di cui disponiamo oggigiorno.

Questa organizzazione risaliva molto a monte: essa cominciava nella foresta e nella cava, dove il maestro andava spesso di persona a scegliere i materiali che doveva impiegare e che bisognava trasportare fino al cantiere. "Una gran parte del costo del lavoro di muratura proveniva dalla spesa del trasporto delle pietre"[8], scrive Salzman, che cita, fra gli altri, il caso dell'abbazia di Vale Royal, dove circa il quarto della spesa totale fu consacrato ai carriaggi; in questo caso, tuttavia, le pietre venivano tagliate in anticipo.

Portiamo alcune cifre: il prezzo della pietra, impiegata per la cattedrale di Norwich, quadruplica a partire dalla cava di Caen. In Inghilterra, il prezzo della pietra di Huddeston aumenta sei volte prima di arrivare a Eton. La pietra trasportata da Tonnerre a Troyes quintuplica. Il primo esempio, d'altra parte, rivela quale grande economia potesse assicurare la via d'acqua. "Sulle grandi distanze, la via d'acqua è più o meno praticabile"[9]. I testi sono pieni di ricerche e di scoperte, talvolta miracolose, di cave che permetteranno di abbreviare il cammino[10], così come lo sono di miracoli che fanno trovare il legno necessario per l'opera di costruzione. Il vescovo Gérard, ad esempio, trova per la cattedrale di Cambrai, dopo aver pregato Dio, una cava adatta a fornire le pietre delle colonne a dieci chilometri dal cantiere, mentre, fino ad allora, bisognava andare a settantacinque chilometri di distanza per estrarle e farle tagliare. Alla fine dell'XI secolo, i Normanni considerarono un miracolo riuscire a trovare della pietra utilizzabile in prossimità del luogo dove essi volevano costruire l'abbazia della Battaglia, per commemorare gli scontri di Hastings[11].

Non fosse altro che in ragione delle difficoltà e del prezzo considerevole del trasporto, di cui abbiamo già parlato, si aveva quindi un grande interesse a tagliare le pietre direttamente nella cava. Il trasporto della pietra grezza, infatti, avrebbe aumentato di due o tre volte il peso da trasportare.

I costruttori romanici se ne erano certamente già resi conto, ma i gotici sviluppano ed applicano in modo sistematico questo procedimento che, per delle persone accurate e metodiche, presenta numerosi vantaggi. "L'uso di posare le pietre interamente tagliate, il sistema della costruzione senza intonacatura, che

[8] F. Salzman, *op. cit.*, p. 349.
[9] P. du Colombier, *op. cit.*, p. 18-19.
[10] *Ivi.*
[11] F. Salzman, *English industries of the middle ages*, Claredon, London, Delft 1964, p. 84.

venne introdotto in epoca romanica, fu osservato nella maniera più stretta dall'architettura francese per tutto il periodo gotico"[12].

Si possono riferire numerosi esempi di tagliatura delle pietre nella cava. Nel 1277-78, per la costruzione dell'abbazia di Vale Royal, gli impresari inviarono i muratori, con i loro aiutanti, nella cava, per estrarvi, sgrossare, lavorare e tagliare un migliaio di pietre[13]. Si è calcolato che, durante la costruzione di questa abbazia, per ben tre anni, una carretta di pietre partisse ogni quindici minuti dalla cava[14].

Si possono ricordare altri esempi del XIV e del XV secolo, a Huddleston e a Pimbeck. A Westminster, nel 1253 e negli anni seguenti, notevoli quantità di pietre vennero comprate "acconciate", cioè già tagliate e rifinite. D'altronde, venivano spesso costruiti nella cava degli edifici, affinché i muratori scalpellini vi potessero lavorare al coperto. Particolari circostanze esterne potevano ugualmente influire sullo sviluppo di questa tecnica; così: "Appare chiaro che la fissazione di dimensioni standardizzate riconosciute per le pietre sbozzate e finite, che potevano essere preparate sia nelle cave, sia nelle botteghe dei muratori per la commercializzazione in un vasto perimetro, ricevette uno sviluppo considerevole durante il Medioevo, e più particolarmente dopo la Peste Nera"[15].

Questa epidemia, che ebbe infatti per conseguenza una considerevole riduzione della mano d'opera, spingerà ad una razionalizzazione ancora più radicale, col fine di accrescere il rendimento degli operai sopravvissuti. Ma già prima di questa catastrofe la prefabbricazione veniva correntemente impiegata, per ragioni di economia e per i molti vantaggi di cui abbiamo già parlato.

Jones riferisce che tantissime pietre venivano finite, parzialmente o completamente, nella cava e che i conti di diversi cantieri fanno riferimento all'acquisto di *dressed stones*, cioè di pietre "acconciate" e "preparate" (il cui "paramento", la cui superficie è tagliata) e non semplicemente sgrossate (che in inglese vengono dette *roughly dressed*). Altrove, il prezzo pagato ai cavapietre mostra con chiara evidenza che la maggior parte della tagliatura veniva eseguita nella cava[16]. E Harvey precisa che "la pietra, in molte cave, veniva tagliata prima del trasporto, secondo dei modelli..."[17].

Inoltre, a causa del costo della pietra, si cercherà, secondo logica, un sistema di costruzione che richieda la minore quantità possibile di pietre: nessun pieno

[12] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 260.

[13] D. Knoop e G.P. Jones, *The Medieval Mason*, Manchester U.P., Manchester 1949, p. 75-79 e F. Salzman, *op. cit.*, p. 349.

[14] J. Gimpel, *Les bâtisseurs des cathédrales*, cit., p. 80.

[15] D. Knoop e G.P. Jones, *op. cit.*, p. 75-79.

[16] *Ivi*, p. 75-78.

[17] J. Harvey, *The Master Builders. Architecture in the Middle Ages*, Thames and Hudson, London 1971, p. 21.

inutile, alleggerimenti sistematici, eliminazione delle masse che non contribuiscono al supporto.

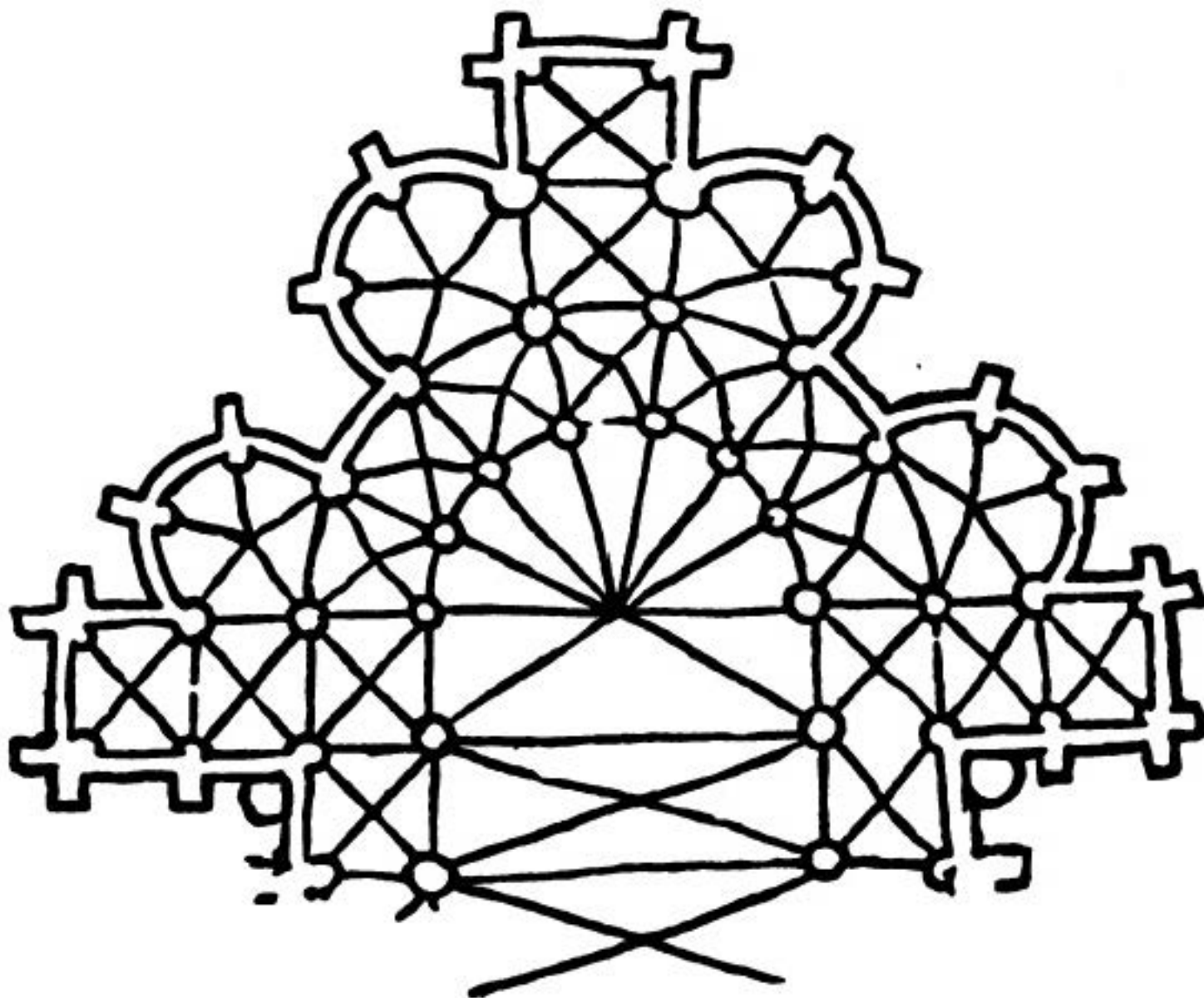
L'opzione di tagliare le pietre e di sbozzare (o addirittura finire) le sculture in anticipo è ciò che noi oggi chiamiamo "la prefabbricazione". Abbiamo visto che le forme e le tecniche adottate dai gotici vi si prestavano e favorivano anche la standardizzazione, che facilita sia la prefabbricazione, sia l'organizzazione del cantiere e della bottega.

Analizzando un dettaglio costruttivo della chiesa di St-Nazaire di Carcassonne, Viollet le Duc osserva che certe parti dell'arco-forma laterale, interamente nascoste dalla muratura, sono modanate come il resto dell'arco: ciò prova la prefabbricazione. "Ogni membro della costruzione venne tracciato e tagliato separatamente nel cantiere, secondo i disegni parziali, e [...] queste diverse parti, così preparate dallo scalpellino, vennero collocate dal posatore, che era il solo a conoscere tutte le loro funzioni ed i loro rapporti nell'insieme della costruzione"[18].

La prefabbricazione porta lontano nelle metodiche: essa obbliga a prevedere meglio e a non "ricamare" che in un quadro limitato. La pianta gotica rivela chiaramente questa capacità di previsione: fa apparire, infatti, non soltanto la sezione al suolo – la pianta vera e propria – ma, come si può vedere, in particolare, sui disegni di Villard de Honnecourt[19], anche il sistema di voltazione, con l'indicazione delle nervature. I costruttori sono pienamente consapevoli del fatto che le volte, con i loro problemi, dominano tutta la concezione; non è più sufficiente alzare dei muri solidi e poi posarvi sopra una copertura indeformabile: bisogna sapere dove si va, già cominciando le fondamenta. I dettagli possono variare in seguito, talora anche le altezze, entro certi limiti, ma il quadro generale è quello dato.

Per ciò che concerne le pietre, entrano in gioco altri motivi, diversi dalla prefabbricazione, pur con tutti i vantaggi che essa presenta, a spingere in favore di una tagliatura da effettuarsi nella cava.

Certi tipi di pietre, infatti, soprattutto le arenarie e i graniti, sono più facilmente tagliabili non appena li si è estratti. Alcuni autori inglesi lo hanno fatto notare[20]. Il maestro che ripara il castello di Rochester, ad esempio, acquista, nel 1367-68, una certa quantità di pietre di Boughton, vicino a Maidstone, le quali – viene precisato – si lavorano più facilmente subito dopo l'estrazione. Noi possiamo confermare questo dato con un esempio più recente: una impresa per la tagliatura di pietre aveva acquistato e conservato dei blocchi di porfido della Finlandia, offerti dallo Zar al re Luigi Filippo per la tomba di Napoleone I.

[18] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, IV, p. 206.
[19] V. de Honnecourt, fig. XVII, XXVII, XXXII.
[20] D. Knoop e G.P. Jones, *op. cit.*, p. 74.

LA VOLTA GOTICA

Questa pianta del capocroce d'una chiesa, disegnata da Villard de Honnecourt, mostra come l'architettura gotica doveva, già a partire dalla concezione, determinare la disposizione delle volte.

Quando, cinquant'anni dopo, si volle staccarne dei pezzi, fu assolutamente impossibile tagliare i blocchi, nonostante si usassero delle lame di sega armate di diamante – strumenti assai più efficaci di quelli che erano stati impiegati, verso la metà del XIX secolo, per realizzare la tomba che si trova nella chiesa degli Invalidi[21].

Altri tipi di pietra, come i calcari, che costituirono il materiale di base delle cattedrali dell'Ile-de-France, si coprono rapidamente di uno strato di incrostazione calcarea che li protegge; ne consegue che è assai preferibile tagliare queste pietre non appena vengono estratte, poiché, in caso contrario, si trovano protette, pochi mesi dopo, da questo strato superficiale e sono quindi meno fragili e meno esposte alle intemperie. È insomma desiderabile riuscire a trasportarle e a metterle a posto già tutte tagliate.

Non sono i soli vantaggi della tagliatura nella cava: bisogna anche aggiungere, infatti, che la conoscenza della cava, dove i diversi strati hanno proprietà,

[21] Riportato da M. Lebeau, impresa Benezech, a Parigi.

qualità ed aspetti diversi, è importantissima ai fini della scelta delle pietre, tenuto conto della loro funzione e della loro collocazione nell'edificio: i cavapietre e gli scalpellini locali, che conoscono la pietra di padre in figlio, sono quindi i lavoratori più adatti a scegliere e a tagliare gli elementi.

Per motivi pratici, legati, in particolare, alla difficoltà di disporre di numerose piante o modelli, alla comodità d'impiego sul cantiere, alla razionalizzazione del lavoro degli scalpellini e alla standardizzazione delle curve degli archi e delle loro centine, ci si sforzava di applicare la normalizzazione più spinta possibile di tutti gli elementi tagliati.

Talvolta, gli elementi venivano prefabbricati a grandissima distanza dal cantiere dove dovevano essere adoperati per la costruzione. Così, a Tournai, nel XIII secolo, si tagliavano, su ordinazione, degli elementi "standard" destinati ad un cantiere di Bruges. Un gran numero di edifici inglesi – centinaia, a detta di Salzman[22] – a partire dall'XI e dal XII secolo vennero costruiti con pietra venuta dalla Francia: la pietra di Caen, ad esempio, servì per la cattedrale di Norwich[23], per l'abbazia della battaglia di Hastings, per i castelli di Winchester e di Rochester[24] e per la Torre di Londra, la pietra di Rouen per Westminster a Londra, la pietra di Marquise (Pas-de-Calais) per la cattedrale di Canterbury[25]. Per facilitare il trasporto fino al luogo di lavoro senza inutili scarichi, si arrivò a preparare dei canali speciali al solo scopo di servire certi cantieri; si possono ricordare, in particolare, i casi di Rievaulx[26], Sawtry e Bury St. Edmunds[27]. Ogni volta che era possibile, d'altronde, veniva impiegata una via d'acqua per trasportare le pietre: le colonne di Worms arrivarono lungo il Reno, così come le pietre dei Siebengebirge che servirono a Xanten; le pietre estratte a Gandoghia arrivavano a Milano attraverso il Lago Maggiore, il Ticino e il Naviglio[28]. I marmi del campanile di Firenze risalivano l'Arno[29], le pietre dell'abbazia di Saint-Benoît giungevano dal Nivernese attraverso la Nièvre e la Loira. La rete delle vie navigabili dell'Ile-de-France, servendo nello stesso tempo le cave e le città da approvvigionare, fu di primaria importanza per lo sviluppo dell'architettura gotica.

Si può pensare che lo stile "perpendicolare" inglese si prestasse in modo particolare all'organizzazione metodica e alla prefabbricazione: il reticolato regolare che formava la trama dei muri implicava, infatti, molteplici ripetizioni di elementi identici, non soltanto per ciò che concerneva le volte, ma anche nelle

[22] J. Gimpel, *op. cit.*, p. 82.
[23] F. Salzman, *op. cit.*, p. 119.
[24] *Ivi*, 95 e D. Knopp e G.P. Jones, *op. cit.*, p. 75.
[25] Stein, citato da P. du Colombier, *op. cit.*, p. 19.
[26] *Ivi* e P. du Colombier, citato da M.S. Briggs, *The architect in History*, Oxford 1927.
[27] F. Salzman, *op. cit.*, p. 85.
[28] Diversi esempi citati da P. du Colombier, *op. cit.*, p. 19.
[29] Guasti, citato da P. du Colombier, *op. cit.*, p. 19.

pareti, offrendo così dei vantaggi sia al livello del disegno, sia a quello dell'esecuzione in tutti gli stadi. Questa rete rettangolare, nella quale si inserivano tutti gli elementi di decorazione e che conferiva all'insieme una grandissima unità – sia pure con una certa rigidità – aveva lo stesso significato della rete di nervature che si sviluppava sulle volte.

Il fatto che gli inglesi facessero spesso venire le pietre da lontano e dovessero anche talvolta importarle, così da essere obbligati a farle tagliare in anticipo, per ridurre il costo dei trasporti, non è certamente estraneo a quella ricerca di sistematizzazione che favorì forse lo sviluppo dello stile perpendicolare: tale stile copre in Inghilterra un periodo due volte più lungo di tutta la rimanente fase gotica[30].

Un altro punto deve essere messo in evidenza – e troviamo qui un esempio delle connessioni attraverso le quali il contesto climatico e sociale può influire su una architettura. "Il periodo in cui si poteva costruire era, a causa del gelo, strettamente limitato", scrive un autore inglese[31], il quale aggiunge che anche nel Sud si faceva fermare il cantiere dalla fine di ottobre al primo marzo e che quindi bisognava proteggere il cantiere e lasciare gli operai disoccupati, oppure trovar loro del lavoro da fare in una bottega, come ad esempio tagliare delle pietre o fabbricare delle centine. Accadeva lo stesso, e non certo in minore misura, nella Francia del Nord della Loira, dove la latitudine è meno elevata, ma il clima è più continentale. Le condizioni climatiche e la pressione sociale urbana, insomma, obbligavano a ricercare dei metodi di lavoro più adatti: anche in questo caso, si ritrova tutta l'importanza della standardizzazione al fine di permettere la prefabbricazione e di aumentare la proporzione del lavoro fuori dal cantiere.

Altri elementi ambientali si facevano sentire, fra i quali le relazioni tra il cantiere e la campagna circostante, che forniva personale stagionale d'integrazione. Il carreggio, in particolare, poteva offrire ai contadini un'apprezzabile occasione di lavoro complementare. "Durante l'autunno, la battitura dei cereali, la arature, la pigiatura dell'uva e i preparativi per l'inverno lasciavano solo pochi uomini disponibili per la cattedrale. Al contrario, durante i mesi vuoti dell'inverno e durante una parte della primavera e dell'estate, le necessità agricole diventavano meno pressanti. Era il momento migliore per partecipare ai lavori del cantiere; poi, quando la mano d'opera ritornava in campagna, i gruppi di operai specializzati, lasciati senza assistenza, non avevano più altra scelta che quella di trasferirsi"[32].

Durante l'inverno, d'altra parte, gli abitanti della campagna potevano dedicarsi a fabbricare, usando le tecniche di lavorazione dei vimini, i graticci di rami che, in quell'epoca, costituivano il materiale di base degli steccati tempo-

[30] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 170.

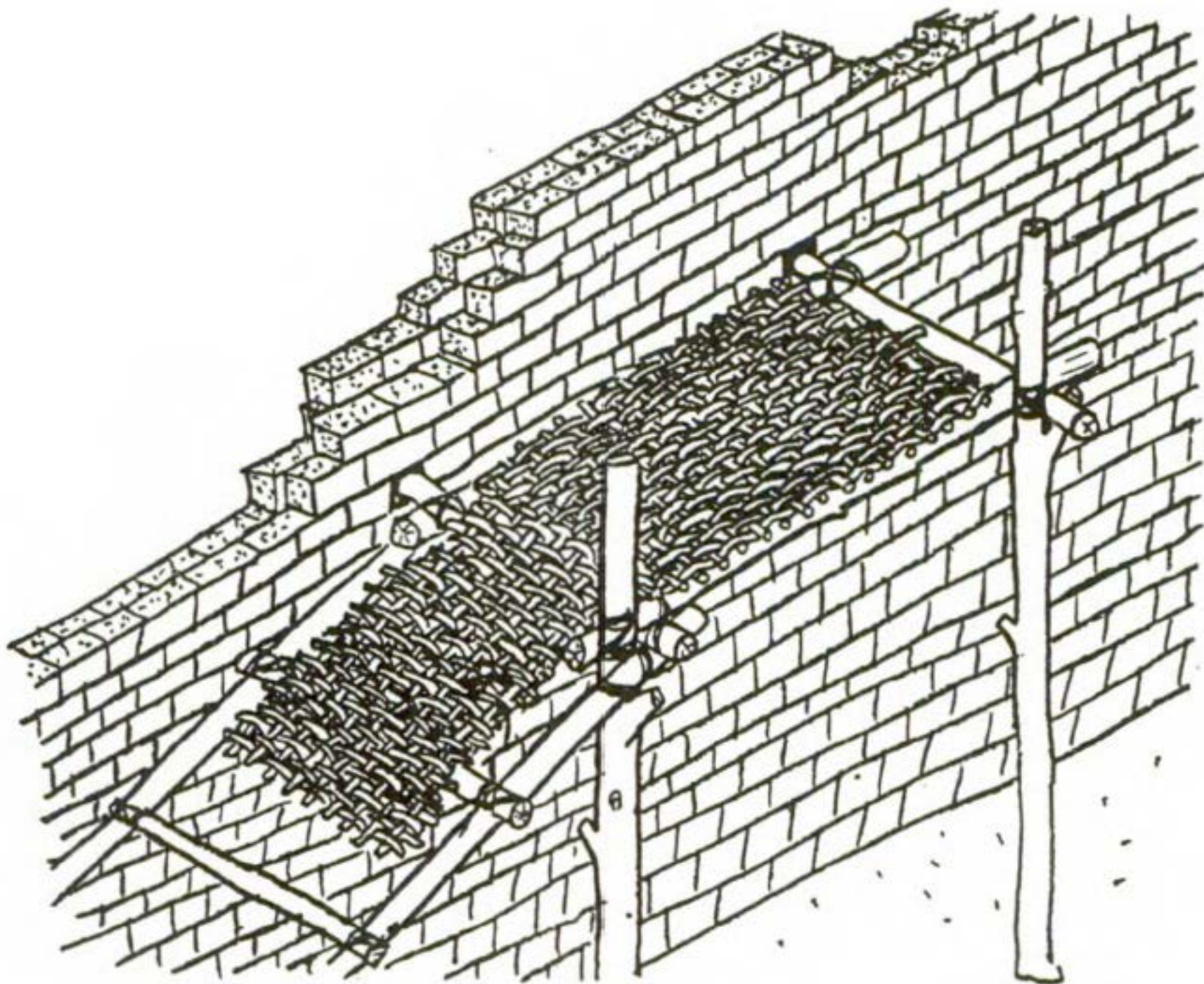
[31] *Ivi*, p. 63.

[32] J. James, *op. cit.*, p. 15.

ranei e potevano anche essere impiegati nei cantieri per fare piattaforme di lavoro provvisorie, pannelli di protezione o anche fondi flessibili per le casseforme: questo materiale tuttofare pemetteva di realizzare, insomma, ciò che si fa, ai nostri giorni, con graticolati estensibili di legno per i tavolati di protezione, con griglie o palizzate per le recinzioni, con pannelli flessibili di diverso materiale per la casseforme curve. Esso è rimasto in uso, d'altra parte, fino ai nostri giorni presso i militari che, durante la prima guerra mondiale, usavano ancora dei gabbioni e dei graticci costruiti secondo questa tecnica.

Il problema dell'impiego di una mano d'opera poco specializzata, stagionale e talvolta volontaria e gratuita, con solo un minimo inquadramento sotto degli operai qualificati, spingeva anch'esso a sviluppare la prefabbricazione e la standardizzazione. Quando si ha una maggioranza di mano d'opera non specializzata, la soluzione pratica è sovente la prefabbricazione: essendomi trovato io stesso in una situazione simile, in un paese ancora assai poco sviluppato, a Nouakchott in Mauritania, all'inizio degli anni Sessanta, ero giunto alla medesima conclusione. Lo stesso succedeva nel XIII secolo, ma non per le stesse ragioni che spingono oggi alla prefabbricazione l'edilizia dei paesi industrializzati.

La prefabbricazione degli elementi, che i costruttori si sforzarono allora di realizzare in tutta la misura del possibile, non aveva infatti interamente lo stesso carattere di quella che noi applichiamo oggigiorno: questa mira a concentrare in un solo punto un'attrezzatura pesante e meccanizzata, talvolta sofisticata e costosa – presse, casseforme scaldanti, ponti scorrevoli, ecc. – e a localizzarla in prossimità di agglomerati urbani aventi della mano d'opera disponibile, ma non serve a semplificare i trasporti, che sono anzi più delicati per elementi finiti che non per sabbia, ghiaia o cemento, giacché ormai il peso della merce non crea più grossi problemi. Nell'epoca gotica, al contrario, il guadagno di peso era l'essenziale. Potevano aggiungervisi i vantaggi della tagliatura nella cava, dovuti al problema dell'indurimento delle pietre estratte, in certi casi ad una strumentazione e ad un'attrezzatura che nella cava erano migliori e più adatte e, infine, alla necessità di non ingombrare troppo il cantiere e le sue vicinanze con delle botteghe di scalpellini: la cattedrale, infatti, veniva spesso costruita in una zona limitata, stretta fra le case, senza contare che, durante la costruzione, si doveva solitamente garantire la possibilità di continuarvi il servizio del culto.

Affinché la costruzione potesse svolgersi senza errori, le pietre venivano generalmente marcate, così come le sculture (il che non ha impedito inversioni di statue nella successione dei "mesi", nella cattedrale di Notre-Dame di Parigi). Per permettere la prefabbricazione senza che venisse a moltiplicarsi il numero dei modelli, era indispensabile una standardizzazione: tuttavia, i cunei di una nervatura o di un arco trasversale non erano sempre identici in lunghezza. Ciò non era necessario e avrebbe portato a sprechi di pietre: era sufficiente che i cunei fossero tutti tracciati secondo la medesima curva, come abbiamo già visto

TAVOLATI DI CANTIERE

Nello stesso tempo leggeri, resistenti e flessibili, questi elementi a graticcio, prodotti dall'industria rurale, servivano altrettanto bene come steccati di protezione che come piattaforme provvisorie.

a proposito dell'arco a sesto acuto e della standardizzazione. Ciò presentava dei vantaggi anche in relazione all'impiego delle centine. Per ciò che concerne le nervature e gli archi in aggetto, ci si sforzava di ridurre il numero dei diversi tipi di profili. È il caso delle volte inglesi con nervature, dove i costruttori moltiplicarono questo motivo.

Analogamente, i "quadroni", le pietre che costituivano le vele delle volte, venivano tagliati approfittando delle disposizioni e degli spessori di "strato" della pietra, ma standardizzando le curve e l'angolo fatto dagli strati a raggiera, oppure venivano tagliati in elementi sufficientemente piccoli da poter avere tutte le facce piane. Abbiamo già visto che i diversi aspetti dell'architettura gotica facilitavano questa disposizione.

In taluni casi, le pietre venivano standardizzate su decisione dell'autorità politica, come avvenne, ad esempio, a Douai, dove tutti i "quadroni" dovevano avere la stessa dimensione, fissata da un decreto municipale.

Per ciò che concerne le opere provvisorie, centine, casseforme, impalcature, abbiamo visto, nei capitoli dedicati alle volte, come il sistema elaborato dai gotici – la crociera ogivale e le volte sopra i costoloni – permettesse di ridurre le centine quasi esclusivamente a quelle destinate a reggere le nervature. La forma triangolare, a punta in basso, delle vele situate fra le nervature permetteva verosimilmente di alzare la muratura di tutta la parte inferiore delle vele, grazie all'aderenza degli strati di pietre già posati, appoggiando gli strati da una parte e dall'altra sulle nervature e sulle estremità degli strati delle altre vele, un'operazione favorita da una leggera convessità delle superfici. Il problema dei supporti provvisori della muratura – centine, armature o casseforme – non si presentava che, alla fine, per le parti alte delle vele, dove gli strati successivi non potevano più appoggiarsi efficacemente su quelli precedenti o sulle nervature, poiché la superficie diventava troppo piatta o troppo vicina all'orizzontale.

Cerchiamo di rappresentarci la costruzione di una campata con volta a costoloni, in una località dell'Ile-de-France, come se dovessimo realizzarla noi stessi con i mezzi di cui disponevano gli architetti gotici.

Prima di tutto, ci sforzeremo di economizzare quanto più sarà possibile sulle opere provvisorie, a causa dell'alto prezzo e della rarità del legno: pertanto, impiegheremo più che potremo le centine stesse come supporti delle impalcature. È desiderabile, in ogni caso, che le centine delle nervature abbiano una certa altezza, per evitare che possano esercitare una spinta sui propri appoggi, ma anche, nello stesso tempo, per dar loro più forza e facilitare la commettitura, al centro della campata, delle quattro mezze centine destinate a ricevere i costoloni della crociera ogivale: tale disposizione in quattro parti appare, infatti, indispensabile, dato l'incrociarsi dei due archi diagonali, se si vuole poter smontare queste centine in vista di un successivo reimpiego: al contrario, le centine degli archi doppi trasversali potranno essere di un solo pezzo. Quanto agli archi-forma laterali, si riuscirà il più delle volte ad evitare le centine, costruendo dapprima il sistema delle finestre di pietra.

Lungo l'altezza delle centine, fra l'arco superiore e la trave inferiore, sarebbe possibile inserire dei travetti sporgenti che formino, sul fianco della centina, una sorta di scaletta, tale da permettere ai muratori di trovarsi alla giusta altezza per posare i cunei e confezionare i giunti di malta delle nervature. Ma sarà più semplice allestire subito una piattaforma di lavoro, destinata a permettere la costruzione delle vele; a questo scopo, verrà lanciata da una centina all'altra una travatura, che formerà ugualmente dei gradini successivi sui quali gli operai potranno murare le vele partendo simultaneamente dai quattro angoli. I travetti di questa piattaforma dovranno essere sostanzialmente paralleli alle generatrici delle volte, cioè agli strati delle pietre. Nella parte bassa della volta, sotto gli angoli inferiori delle vele, la larghezza della piattaforma sarà molto ridotta; essa sarà massima alla cima, ma senza mai superare la metà della luce della volta;

anche nel caso di una volta molto ampia, con una luce, per fare un esempio, di 15 metri, si avrebbe una larghezza massima della piattaforma di 7,50 metri, una misura che non crea nessun problema. Per reggere il peso degli uomini e del loro materiale, delle semplici travi o dei puntoni, sostenuti alle due estremità da legami, basteranno a superare questa distanza.

Questo sistema assicurerà inoltre l'indispensabile pressione laterale di controvento sulle centine, le quali potranno essere così realizzate con elementi dalla sezione ridotta al minimo indispensabile e non con elementi più robusti, al solo scopo di resistere agli sforzi laterali o di torsione.

Soltanto gli ultimi strati dei conci delle vele, per "chiudere la volta", dovranno essere collocati dal di sopra, sia girando sulla parte di volta già realizzata, dopo qualche settimana di disseccamento (o sulla cassaforma della parte ancora da posare), sia con l'aiuto di leggere piattaforme sospese all'armatura.

Questo procedimento si presta ad un sistema molto sommario di casseratura delle vele, nelle loro parti basse, là dove, partendo da un angolo, possono essere costruite eventualmente senza centine, o con dispositivi molto leggeri.

Nelle parti alte, sarà invece necessaria una casseratura più completa e più robusta, che dovrà reggere, nello stesso tempo, il peso degli operai incaricati di "chiudere" le vele. Per sollevare gli ultimi conci, si potrà passare tra le parti superiori delle nervature, attraverso la parte più alta, ancora da fare, di una vela, per una botola preparata nella casseratura superiore.

Le piccole capriate leggere che costituivano l'armatura erano tutte identiche, ma, nelle loro parti "utili" – cioè in quelle parti che non ricevevano i supporti della copertura o che non poggiavano sulla muratura – erano tollerati difetti o irregolarità che non presentassero alcun inconveniente dal punto di vista pratico: gli elementi venivano sgrossati in modo sommario; pezzetti di corteccia o deformazioni superficiali erano ammessi: "sovente i puntoni, come gli alberi dai quali sono stati tagliati, sono più forti ai piedi che ai vertici"[33]. Simili dettagli, che scandalizzerebbero gli spiriti abituati alla segatura regolare ed esatta delle segherie industriali e allo spreco dei ritagli, erano indice dello spirito pratico e senza pregiudizi dei gotici e, nello stesso tempo, della necessità che essi avevano di economizzare sul materiale e sul lavoro. A maggior ragione, le opere provvisorie venivano realizzate, nella misura del possibile, con pezzi di legno appena sgrossati, ma ciò non avveniva semplicemente per economizzare sul lavoro; finché non cominciarono a svilupparsi – soprattutto dopo gli anni Cinquanta – le impalcature metalliche tubolari, interamente recuperabili, tutti i tipi d'impalcatura, così come le centine degli edifici e delle opere d'arte, erano di legno. Ancora adesso, almeno in Francia, le impalcature, in tutte le piccole costruzioni, sono costituite essenzialmente da travi o da pali non squadrati e di se-

[33] C. Enlart, *op. cit.*, I, p. 492.

zione rotonda. Non è senza ragione che vengono impiegati questi elementi rotondi: essi sono molto più resistenti e durevoli, in vista di smontaggi e rimontaggi frequenti, e si fendono meno facilmente rispetto ad elementi segati (che restano, tuttavia indispensabili per le piattaforme di circolazione, le quali, nell'epoca gotica, erano fatte con graticci intrecciati di legni rotondi); essi sono inoltre più facilmente manipolabili (poiché gli operai rischiano meno, con legni di sezione rotonda ancora rivestiti di alburno o anche di corteccia, di trovare delle schegge); non avendo, infine, angoli vivi, essi fanno meno male quando li si urta. Per le stesse ragioni di una più rapida smontabilità, anche oggi, quando le impalcature sono di legno, le commettiture continuano ad essere fatte – come lo erano durante l'epoca gotica – con del cordame. Anche ai nostri giorni si impiega solo una quantità minima di punte (chiodi), sia per evitare di dover poi levarle in seguito, sia per ridurre i rischi di ferite. Questo motivo si aggiungeva, nel caso dei gotici, alla rarità del ferro e al suo altro prezzo.

Una commettitura è un punto debole dell'armatura; ma talvolta la natura stessa ci fornisce delle commettiture già pronte, come è il caso, per fare un esempio, del raccordo dei rami con il tronco. Per questo motivo, con semplicità e con logica – se ne vedono diversi esempi nelle miniature[34] – i gotici utilizzavano, per le loro impalcature e per le loro costruzioni secondarie o industriali, dei tronchi da cui si vedono uscire piccoli rami, che servivano loro da appoggi, da scale, da traverse e da rinforzo – esattamente come fa il contadino, che sceglie un ramo curvo per le stive del proprio aratro, oppure un ramo con due braccia simmetriche per fabbricare la propria forca, con la massima economia di legname e utilizzando al meglio la forma naturale. Il segamento, spezzando le fibre che deviano dalla parallela, indebolisce il legno, poiché le fibre recise non contribuiscono più alla solidità se non per l'aderenza: quando invece sono tagliati con l'accetta, i pezzi di legno non potranno avere delle forme rigorosamente geometriche, ma, a parità di sezione, saranno più solidi che non i pezzi segati. "Ci si limitava a squadrarli con cura: poiché non erano tagliati a fondo e il cuore del legno non veniva portato alla luce, essi erano meno soggetti a spaccarsi e a ferirsi e conservavano la loro forza naturale"[35].

Per fusti molto regolari e diritti, come gli alberi della Scandinavia, o per le grandi piante tropicali, che hanno poche fibre a causa delle basse variazioni stagionali di temperatura, il segamento non produce un eccessivo indebolimento del legno: ma non è lo stesso per alberi dalle dimensioni medie e dalle forme talvolta distorte, come sono quelli che nascono nei nostri climi. Ciò era particolarmente vero in un'epoca in cui si "coltivava" l'albero, come ai nostri giorni,

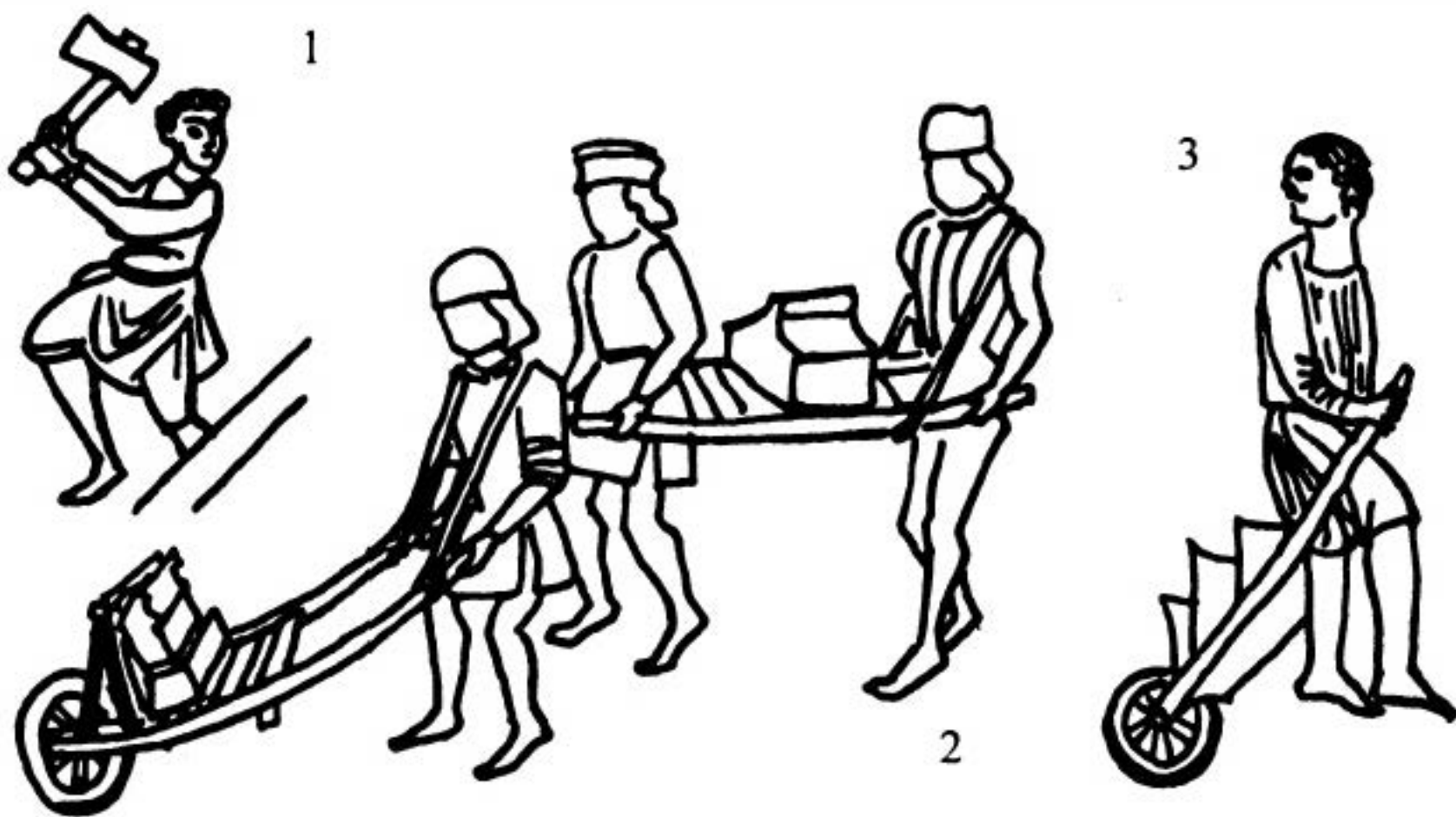
[34] In particolare V. de Honnecourt, XXXIX e anche Manoscritto di Montecassino e Miniatura di Linz, riprodotti da P. du Colombier, *op. cit.*, p. 8 e 29.

[35] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, II, p. 215.

con sistemi studiati per favorire, secondo ricette messe a punto dopo il XVII secolo, la crescita di fusti ben diritti e ben slanciati. Viollet le Duc, tuttavia, afferma che durante l'epoca gotica, nelle foreste della Francia, crescevano delle querce con una morfologia differente rispetto a quelle del XIX secolo: questi alberi erano, nello stesso tempo, molto alti e molto diritti, senza essere però di grande sezione, ciò che permetteva di usarli, senza fenderli interamente, per elementi di armatura di grande lunghezza, insieme solidi e leggeri[36].

Il sistematico reimpiego delle centine, spostate dopo il completamento di ogni volta, nonché lo sforzo considerevole che s'imponevano i costruttori gotici per economizzare il legno, sono confermati dalla poca quantità di legname comprato in ognuno degli esempi riferiti da Salzman (ciò che mette in evidenza anche Fitchen). In molti casi, questo sistematico reimpiego è stato osservato. "Per poco che si esaminino con cura le costruzioni gotiche, ci si persuade che gli architetti incaricati di erigerle mancarono spesso di risorse, in rapporto alle condizioni naturali e all'importanza di quegli edifici. Dovevano pertanto essere molto avari nell'uso delle impalcature, che costano molto care, ma non rappresentano alcun valore una volta che la costruzione sia terminata"[37].

I gotici si sforzavano, insomma, di semplificare al massimo queste opere provvisorie: "Il costruttore del Medioevo lavorava senza impalcature pesanti e si può anche aggiungere che utilizzava soltanto il minimo necessario di passerelle e di impalcature leggere. Le stesse costruzioni rivelano manifestamente che i muri costituivano la principale impalcatura, poiché reggevano delle leggere mensole di legno e delle tavole che i costruttori utilizzavano e spostavano man mano che il lavoro progrediva"[38]. Viollet le Duc offre numerose raffigurazioni di questo procedimento[39]. L'autore inglese che abbiamo appena citato aggiunge che le impalcature così fatte stavano in bilico anche nelle parti più alte degli edifici e non potevano mai servire a reggere materiali pesanti: essi venivano sollevati direttamente dal terreno. Si trovano gli stessi procedimenti anche in Francia: "Ciò che i monumenti ci insegnano, è la cura che avevano i gotici nel semplificare le installazioni dei loro cantieri. Grazie allo scarso peso delle pietre impiegate per la costruzione, essi potevano limitarsi ad usare un'attrezzatura poco costosa e, soprattutto, impalcature leggere. E queste impalcature, i gotici si costringevano, per ragioni di economia, a farle reggere, per quanto era possibile, dalla costruzione medesima: a Notre-Dame di Parigi, infatti, si distinguono ancora, nei paramenti della facciata, i fori delle travi che permisero di

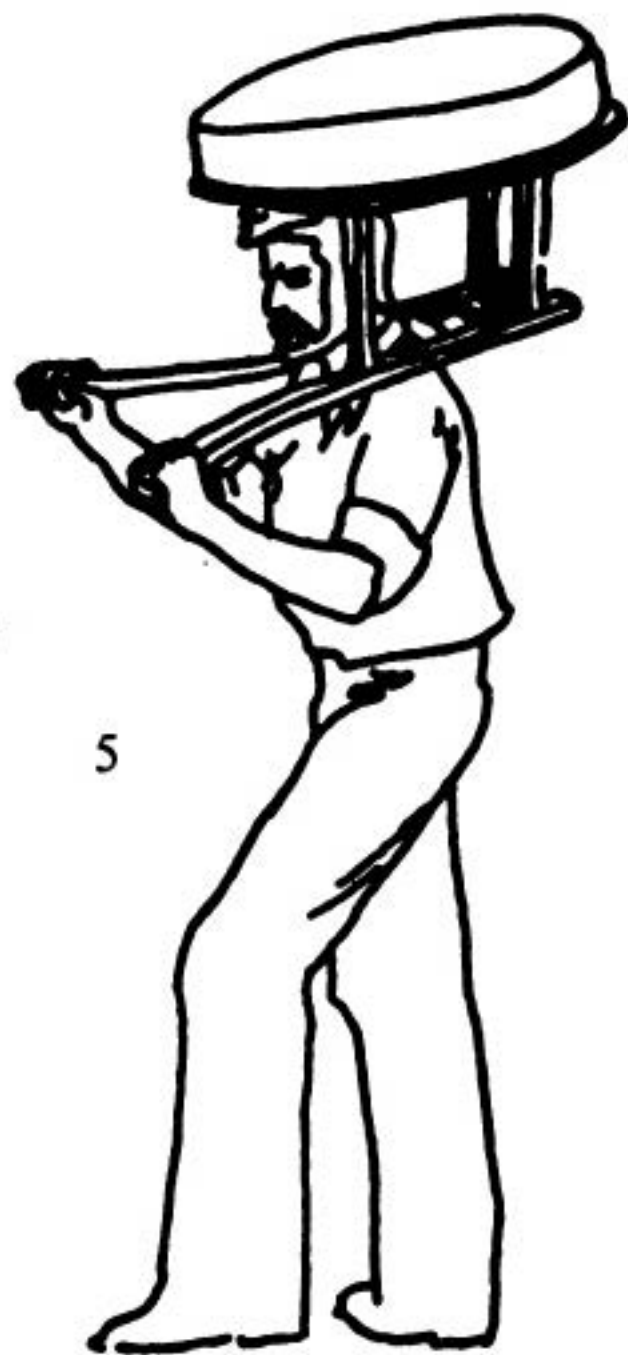
[36] *Ivi*, II, p. 214.
[37] *Ivi*, V, p. 108.
[38] Th. L. Watson, *The Double choir of Glasgow cathedral*, Hedderwick 1910.
[39] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, II, p. 215.

STRUMENTI DEI CANTIERI GOTICI

1) Piombatore-copritore, con il suo mazzuolo di legno per formare il piombo; strumenti analoghi vengono utilizzati ancor oggi.
2) Barella e carriola (da Bible de Charles Martel, *XV sec.).*
3) Carriola (da Bible Latine, *Parigi, XIII sec.).*

fissare ai muri le impalcature. Questi fori, necessari durante la costruzione, potevano servire nel caso di successivi restauri"[40].

In numerose chiese gotiche, come anche nelle chiese romaniche, si vedono questi fori, conservati con cura. Per i gotici, a causa delle altezze considerevoli raggiunte dai loro edifici, era essenziale il problema dei mezzi di sollevamento: "L'impiego degli strumenti di sollevamento e di forza venne stimolato dalla crescita delle costruzioni... Tuttavia, il piano inclinato fu, senza alcun dubbio, il metodo di sollevamento dei materiali più corrente"[41].

Come nelle impalcature che fino a pochi anni fa si vedevano ancora in Jugoslavia, delle rampe di forte pendenza permettevano ai manovali muniti di ceste o di stanghe, e talvolta anche a cavalli con dietro dei carri, di far salire i materiali fino alle parti più alte della costruzione. Il quadro di Bruegel che raffigura la Torre di Babele mostra, nei particolari, una simile organizzazione del lavoro sul cantiere. È in quest'epoca che si ebbe l'idea di sostituire con una ruota uno dei due portatori di una barella: si vede infatti, sopra alcune miniature, la

[40] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 262.
[41] J. Le Goff, *La civilisation...*, cit., p. 256-257.

4) Strumenti di trasporto a forma di racchette in un cantiere del XII sec. (da un manoscritto di Montecassino).
5) A destra: il così detto "uccello", ancora usato ai nostri giorni nelle fabbriche di formaggio (Haut-Doubs, Doc. Ethnologie française). Il modello gotico lascia libera una mano del portatore, per salire sulle scale.

raffigurazione di una primitiva carriola. Anche per portare la malta, i gotici disponevano di strumenti ingegnosi: i recipienti più usati erano tinozze a due capi, nei fori dei quali si infilava una sbarra di legno perché potessero essere sollevate con la gru. Ma a volte si vedono anche raffigurati dei recipienti allungati con un solo manico, che potevano essere tenuti sulla spalla con una sola mano, mentre con l'altra ci si aiutava per salire la scala, e che il muratore poteva anche capovolgere con una mano per grattare il fondo con la cazzuola. Anche gli "uccelli" venivano usati nei cantieri gotici: si trattava di una sorta di cassette da trasporto, adatte ai movimenti sui piani orizzontali o inclinati o su gradini – ma poco pratiche su una scala, dove ci si deve tenere con una mano, poiché questi strumenti si appoggiavano su entrambe le spalle e dovevano essere tenuti con due mani.

I popoli preistorici che realizzarono i megaliti utilizzavano le pietre più o meno come le trovavano, e la loro ingegnosità si esercitava soprattutto nel met-

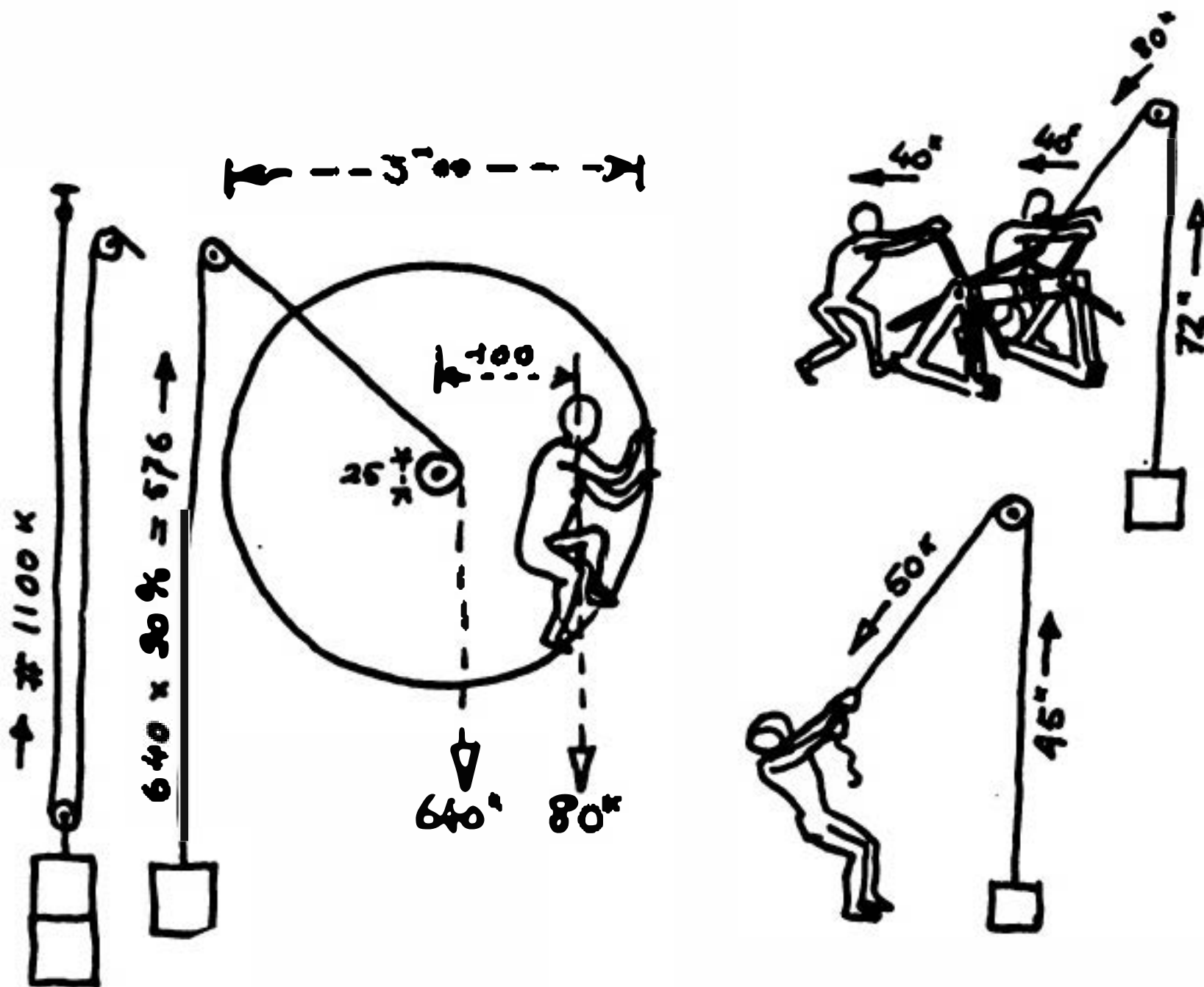
terle dritte, mediante strumenti primitivi. Molte civiltà antiche che lasciarono monumenti rimarchevoli, dagli egiziani fino agli incas, si servivano di blocchi molto grossi poiché, disponendo di mezzi rudimentali per il taglio della pietra, dovevano ridurre questa operazione al minimo necessario. Per la sistemazione dei blocchi, supplivano alla mancanza di strumenti perfezionati per il sollevamento e il trasporto con una grande abbondanza di mano d'opera, ricorrendo a metodi adatti, fondati sull'uso dei piani inclinati, dei rulli e delle leve. Non potevano però, in questo modo, costruire facilmente degli edifici molto alti. I gotici, al contrario, che disponevano di pietre più facili da lavorare e che avevano perfezionato la tecnica del taglio, impiegavano sistematicamente elementi di dimensioni ridotte; le pietre più grandi erano le chiavi di volta o le imposte situate alla base degli archi, che superavano il peso di mezza tonnellata; ma tali pietre erano poco numerose. Senza questo impiego di elementi piccoli, reso possibile dall'ingegnosità e dall'audacia delle tecniche costruttive adottate, le cattedrali non avrebbero mai potuto raggiungere delle altezze così notevoli.

Ma non si poteva trasportare tutto a braccia, o anche trainare con cavalli, sopra dei piani inclinati. Era indispensabile disporre di mezzi atti a sollevare verticalmente i materiali e gli elementi pesanti. I gotici sapevano intrecciare dei cavi solidi ed utilizzarli. Da questo punto di vista, il progresso della coltivazione della canapa e delle tecniche di macerazione e di gramolatura permetteva di ottenere dei cordami di buona qualità, come quelli che resero possibile il perfezionamento delle navi a vela, legato alle due tecniche gemelle del lino e della canapa. I gotici disponevano quindi di tutto ciò che a loro bisognava in questo campo, sia per le normali operazioni di sollevamento, sia per le legature ed i fissaggi delle opere provvisorie. Ma non avevano, tuttavia, i cavi metallici, che oggi fanno parte di qualunque strumento di sollevamento e permettono di alzare dei pesi molto più rilevanti.

La carrucola, in quell'epoca, era di uso corrente: talvolta era collocata su incastellature girevoli, ma congegni più complicati erano rari. "Le macchine di sollevamento, che non differiscono molto, almeno nel loro principio, dalle macchine antiche – semplici verricelli con carrucole di richiamo, gru a gabbia di scoiattolo – restano delle curiosità o delle rarità"[42]. In effetti, il primo martinetto conosciuto figura su un disegno di Villard de Honnecourt[43]. Ma se gli strumenti di sollevamento erano certo rudimentali ed azionati a forza di braccia, l'impiego della carrucola, del paranco, dell'argano e, soprattutto, della grande ruota detta "gabbia di scoiattolo" permetterà di demoltiplicare considerevolmente le forze e di sollevare pesi notevolissimi, limitati in gran parte dalla resistenza dei cavi e dalla solidità dei punti d'appoggio. Lo strumento di sollevamento più po-

[42] *Ivi.*
[43] V. de Honnecourt, *op. cit.*, tav. XLIII.

tente, talvolta accoppiato con un congegno girevole, era la gabbia di scoiattolo: se ne vedono ancora degli esemplari in certi edifici medievali (in particolare al Mont-Saint-Michel, a Beauvais e a Gdansk in Polonia). Mediante una grande ruota di 2,50 m di diametro, il cui asse, sul quale si avvolge il cavo, abbia, per fare un esempio, 25 cm di diametro, un uomo di 80 kg può far salire senza difficoltà un peso di 550 o di 600 kg (tenendo conto degli attriti).

Il peso dell'uomo, infatti, si applica verticalmente sulla periferia della ruota e riconduce verso il basso il piolo sul quale l'uomo si appoggia esercitando, tangenzialmente all'asse, il cui raggio è di 12,5 cm, uno sforzo moltiplicato per 8.

SOLLEVAMENTO PER MEZZO DELL'ENERGIA MUSCOLARE

L'obiettivo di tutti gli strumenti è di impiegare, in aggiunta all'energia muscolare, che è limitata, il peso dell'uomo, moltiplicando così la forza: la lunghezza delle manovelle dell'argano o il raggio della gabbia di scoiattolo in rapporto al raggio del cilindro d'avvolgimento del cavo servono a questo scopo. Nella gabbia, l'energia muscolare da spendere si limita allo spostamento verso l'alto del peso degli operai (ascensione). La carrucola permette, senza troppe perdite causate dall'attrito, di modificare la direzione dello sforzo, grazie ad un punto di sospensione: lo sforzo viene così diretto dall'alto verso il basso e vi può partecipare il peso del corpo (si è tenuto conto delle perdite causate dall'attrito). Nel caso di una carrucola mobile, si divide per due lo sforzo da fornire.

Ciò era ampiamente sufficiente per alzare le pietre più pesanti della costruzione, fra le quali si possono considerare le statue, le chiavi delle volte e le pietre superiori delle masse di carico, le cui code erano generalmente incastrate nei muri. Sono queste ultime quelle che Villard de Honnecourt chiama molto bene *erracenmens*, cioè sradicamenti (*é-racinements*). Proprio da queste pietre, infatti, i fasci delle nervature – come gli arbusti a partire dalle loro radici – cominciano a divergere.

In caso di necessità, per alzare dei pesi molto forti, si potevano mettere due uomini nella grande ruota.

Nei divertenti disegni del suo album *La cattedrale*, Macaulay[44] ha raffigurato, per errore, una grande ruota con il cavo che si arrotola intorno alla ruota stessa... nel qual caso, in mancanza dell'effetto di leva, bisognerebbe limitarsi, per l'elemento da sollevare, ad un peso inferiore a quello dell'uomo-motore! Nello stesso disegno, l'autore mostra anche una volta ogivale nella quale certe vele sono interamente costruite mentre altre sono ancora vuote, quando invece è necessario costruire più o meno insieme i quattro angoli, per non rischiare di esercitare degli sforzi laterali sulle nervature e di far così crollare la volta in costruzione. Ma in quell'epoca non si disponeva di un mezzo comodo per spostare in una volta sola, nello stesso tempo verticalmente ed orizzontalmente, se non a piccolissima distanza, dei pesi rilevanti, come si può fare invece oggigiorno con le gru girevoli a bracci orizzontali di grande lunghezza, con contrappeso. Bisognava quindi moltiplicare i punti di sollevamento e i congegni, oppure spostarli avanzandoli a poco a poco sui muri, che generalmente servivano loro da supporti. Le gru a doppia potenza, che spesso si vedono raffigurate sulle miniature e sulle pitture dell'epoca, rendevano possibile un certo spostamento laterale del carico, a condizione di spostare anche il contrappeso: ciò era sufficiente per deporre il carico sul muro-supporto o sull'impalcatura. Su una sola raffigurazione, ma risalente alla fine del XV secolo, si vede una vera e propria gru girevole a contrappeso, d'una certa ampiezza[45]. Bisognava quindi, in generale, sollevare gli elementi pesanti direttamente nel punto dove dovevano essere collocati, oppure alzarli fino allo stesso livello il più vicino possibile, cercando di preparare dei camminamenti orizzontali: li si trasportava, allora, sopra dei supporti sufficienti, di preferenza sugli stessi muri, mediante dei rulli oppure facendoli scivolare.

Nel XVI secolo, Bruegel il Vecchio raffigurò, sul suo quadro "La Torre di Babele" (Museo di Vienna), molti strumenti di sollevamento; uno di essi è una gabbia di scoiattolo del modello abituale, ma Bruegel, che non era un ingegnere

[44] D. Macaulay, *Naissance d'une cathédrale*, Paris 1974, p. 55 [*La cattedrale*, tr. it. di A. Dolci, Nuove Edizioni Romane, Roma 1981].

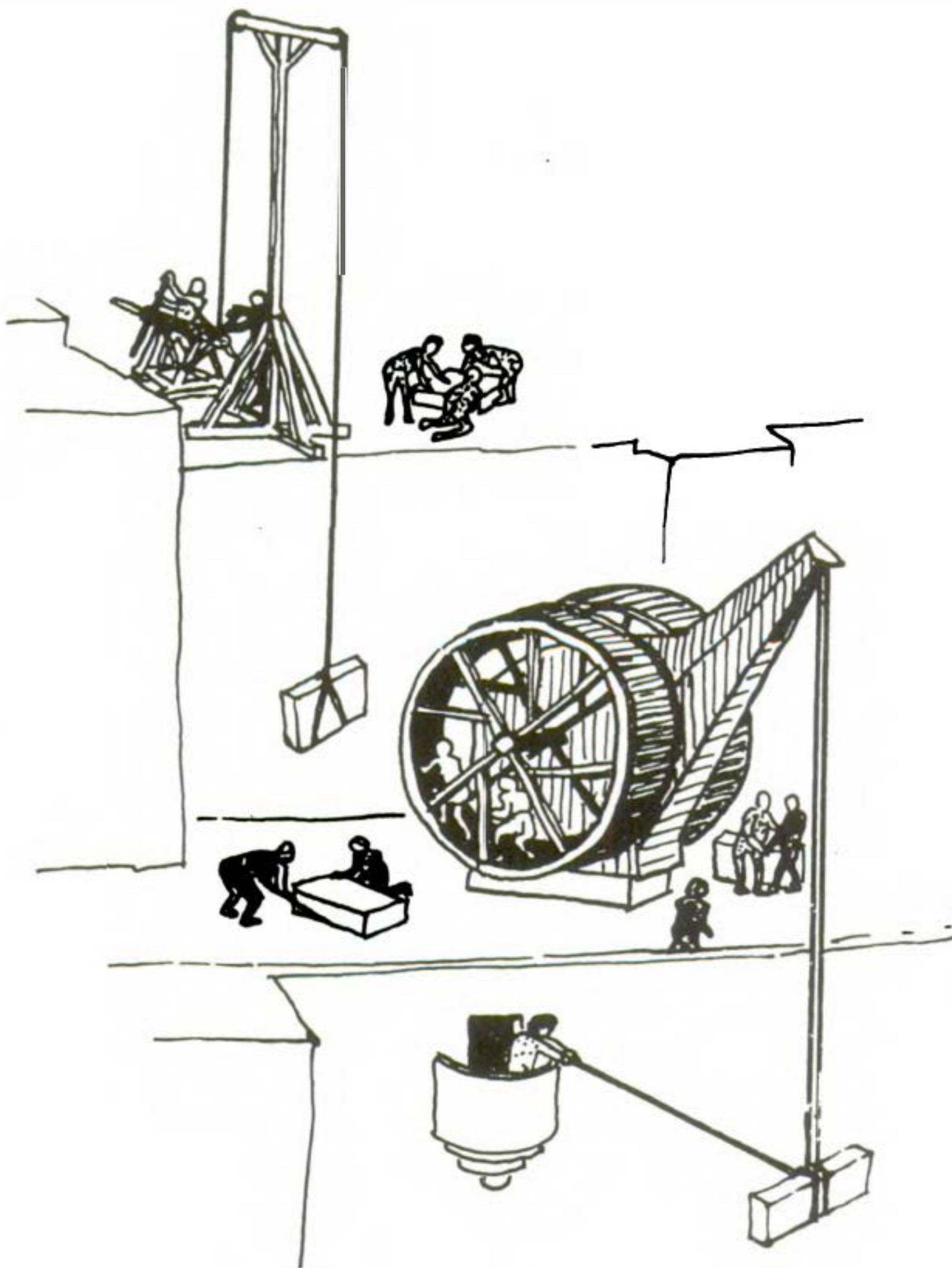
[45] Miniatura di J. Colombe, Museo di Berlino, riprodotta da P. du Colombier, *op. cit.*, p. 55.

come Leonardo da Vinci, commise lo stesso errore di Macaulay, disponendo il cavo intorno al tamburo della ruota e non a quello dell'asse. L'altro congegno, i cui operatori sono protetti contro le intemperie da coperture e da una tettoia di legno, è munito di due gabbie di scoiattolo, ognuna delle quali può contenere due uomini affiancati, cioè in tutto 3 o 4 uomini. Questo congegno è interamente girevole e possiede una sorta di becco che garantisce una sporgenza di circa 3 metri. Non sappiamo se i gotici disponessero già di tali apparecchi, ma essi erano certo in grado di costruirli senza difficoltà.

Degli spostamenti verticali successivi, inframmezzati da trasferimenti orizzontali, potevano eventualmente rispondere alle esigenze dei costruttori, ma complicavano molto il lavoro se si dovevano preparare, a tale scopo, delle opere provvisorie, che oltre tutto richiedevano un consumo considerevole di legno. Era quindi importante, per i costruttori del Medioevo, ideare, nel corpo stesso dei loro edifici, delle vie comode – larghi canali, camminamenti di ronda, trifori, ecc. – lungo le quali fosse possibile spostare orizzontalmente, nei differenti stadi della costruzione, le pietre o gli elementi più grandi dell'armatura; queste vie esistevano a parecchi livelli; per la maggior parte venivano conservate ai fini della manutenzione. "Gli architetti del Medioevo allestivano, nei loro grandi edifici, dei corridoi di servizio a differenti altezze, così da facilitare la sorveglianza e la manutenzione. Le alte facciate delle cattedrali, ad esempio, erano divise da parecchi ordini di gallerie, che permettevano di comunicare dall'interno all'esterno, di curare i pavimenti, di riparare le vetrate dei rosoni e di decorare, all'occorrenza, le facciate per mezzo di tappezzerie, durante le grandi cerimonie"[46].

Lo sviluppo di queste gallerie, che erano numerosissime in certe cattedrali e che comunicavano fra loro grazie a scale a spirale dissimulate nello spessore dei muri, è una caratteristica peculiare degli edifici gotici. Tali vie di comunicazione verticali ed orizzontali erano certamente utilissime anche durante i lavori: esse facilitavano la circolazione per tutta la lunghezza della costruzione, senza che si dovessero edificare, costosamente ed inutilmente, gallerie, rampe o scale temporanee di legno. Esse garantivano in particolare l'accesso e la circolazione, in completa sicurezza, degli operai con i loro strumenti, nonché il trasporto di determinati elementi costruttivi non troppo voluminosi e particolarmente delicati: capitelli, chiavi, sculture ecc.

Quando partecipavano ai lavori dei volontari, come accadeva in certi momenti, era più facile utilizzarli senza pericolo per i trasporti di elementi fragili, grazie a questi passaggi e a queste scale a spirale. Tale situazione si presentò al tempo della campagna di "trasporto umano" del 1145, nel corso della quale,

[46] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, VI, p. 8.

CANTIERE GOTICO

Osservare la gabbia di scoiattolo, con doppia ruota a braccio girevole, e la gru-potenza con l'argano (da Bruegel, XV secolo).

particolarmente in Normandia, i laici si mobilitarono per aiutare la costruzione delle cattedrali.

"È evidente che le gallerie di servizio costituivano delle impalcature integrate, grazie alle quali si potevano effettuare ispezioni frequenti e riparazioni immediate quasi in ogni punto della costruzione e a differenti livelli, tanto all'interno quanto all'esterno; è del pari evidente che questi passaggi di circolazione erano di fondamentale utilità durante il corso dei lavori"[47]. Fitchen osserva che, mentre in molti esempi inglesi le scale di collegamento sono chiaramente esibite e visibili, nel gotico francese, al contrario, esse venivano quasi sempre dissimulate: ciò testimonia pienamente la loro funzione di servizio. Sono state pure osservate frequentemente, sui gocciolatoi delle cornici gotiche – quelle fasce in aggetto che proteggono i livelli successivi – delle specie di piccole pedane orizzontali, spaziate come delle merlature, che Villard de Honnecourt chiama *crétiaux*, cioè creste, crestoni. Questi minimi pianerottoli erano destinati a permettere agli operai di circolare oppure di sistemare le impalcature. Essi dovevano anche facilitare la circolazione per l'ulteriore manutenzione e anche nell'eventualità di un incendio, come suppone Lassus, commentando l'iscrizione della Tavola LXII di Villard de Honnecourt. Si vedono anche sovente delle scale di accesso lungo i muri "pignoni" delle scale bretoni. La lavorazione a sporgenze dei "pignoni" tradizionali in certe regioni – i Paesi Bassi e il Vercors in particolare – costituisce non solo una maniera logica di coprire gli spioventi fatti con elementi parallelepipedi difficili da tagliare esattamente di sbieco, ma anche, in molti casi, una comoda possibilità di circolazione per la manutenzione, o comunque una sopravvivenza di disposizioni aventi un tal fine.

In un clima piovoso come è quello dell'Europa Occidentale, era del resto desiderabile, per un buon andamento della costruzione, poter lavorare quanto più possibile al coperto: le intemperie, che riducono il rendimento della mano d'opera, producono anche danni alle opere provvisorie di legno e, se hanno pochi effetti sui giunti dei muri verticali, possono invece rischiare, sulle volte, di sciogliere ed eliminare le malte a presa lenta, quali erano quelle impiegate nel Medioevo, e di provocare così dei guasti considerevoli, fino anche ad arrivare al crollo delle volte. Come hanno confermato i bombardamenti della guerra 1914-18, infatti, le volte gotiche avevano uno spessore che poteva essere, talora, di soli 10-15 cm.

Le volte antiche erano estremamente massicce e (senza contare che i "cementi" romani avevano probabilmente una presa molto più rapida rispetto alle malte di calce dei gotici) non temevano granché le intemperie: queste ultime, del resto, erano meno frequenti e meno insidiose nei paesi mediterranei. Bi-

[47] J. Fitchen, *op. cit.*, p. 20.

sogna ricordare, in particolare, che il gelo che segue alla pioggia è uno degli agenti più efficaci di deterioramento delle murature.

Le volte romaniche, ugualmente molto massicce e spesso costruite in pietre senza uso di malta, erano anch'esse in grado di resistere più facilmente alle intemperie. Bisogna osservare, a questo proposito, che la forma ad imbuto delle volte a crociera fa sì che l'acqua piovana possa ristagnare e danneggiare la muratura: era una ragione di più per evitare di esporre le volte al rischio delle intemperie, anche sei i gotici riempivano generalmente questi volumi con pietrisco. In un manoscritto della Biblioteca Reale di Bruxelles si può vedere come si comportavano i gotici per proteggere la muratura nel corso dei lavori: piccoli mucchi di stoppie (oppure di letame, che ha il vantaggio di dare una migliore protezione contro il gelo, poiché produce uno sprigionamento di calore) vengono posati sopra i muri, in modo da far defluire l'acqua da una parte all'altra[48], evitando che la malta possa essere sciolta dalla pioggia: tali coperture rustiche esercitavano insomma il ruolo che oggi viene affidato ai fogli di plastica.

In certi casi, nelle regioni meridionali, dove l'estradosso viene talora lasciato senza copertura, le acque piovane sono fatte defluire negli angoli, dove si trovano raccolte a causa della forma stessa della volta a crociera: è il caso, in particolare, della cattedrale di Siviglia, come si può vedere dall'alto del campanile della Giralda. Ma là dove il clima rendeva necessaria una copertura, i gotici si organizzavano in modo da eseguire l'armatura e la copertura prima della lavorazione delle volte.

La Tavola LXIII di Villard de Honnecourt raffigura gli archi rampanti di una cattedrale (probabilmente quella di Reims) in corso di costruzione: si vede, sulla parte superiore del muro *goutterau*, il piede dell'armatura che si costruiva prima che si facessero le volte e, più in basso, un primo inizio della volta, ferma a quell'altezza dove diventa necessario utilizzare una centina.

Tale procedimento – come tutti i dettagli di questa architettura così straordinariamente integrata – è legato intimamente all'architettura medesima: esso costituisce infatti, nello stesso tempo, un fattore di economia delle opere in legno, un modo di impiego più razionale della mano d'opera specializzata, un sistema in grado di permettere la precoce utilizzazione dei locali situati al di sotto e, soprattutto, un metodo tale da rendere possibile la costruzione di volte molto più leggere con un minimo di opere provvisorie, centine o impalcature, senza temere le intemperie per gli operai o per l'edificio.

In simili costruzioni, molto elevate ed esposte al vento, certe fasi del lavoro, in effetti, dovevano essere eseguite il più rapidamente possibile e, soprattutto, senza interruzioni, poiché i costruttori correvano grossi rischi prima che tutta l'opera non fosse completa ed equilibrata; il racconto di Suger che, una volta di

[48] Miniatura riprodotta da P. du Colombier, *op. cit.*, p. 55.

più, vide un miracolo nel fatto che una burrasca violentissima, che faceva vibrare gli archi rampanti della navata in costruzione di Saint-Denis[49], non avesse avuto conseguenze funeste, rivela i timori che si potevano nutrire per tutto il tempo in cui il lavoro era in corso. Era soprattutto il caso di quelle parti che non era possibile proteggere altrimenti che in modo provvisorio, come gli archi rampanti situati all'esterno della copertura, i quali non acquistavano il loro definitivo equilibrio se non con il completamento e l'asciugamento dei giunti delle volte.

Questo procedimento, d'altra parte, garantiva agli operai, in caso di intemperie, una confortevolezza assai apprezzabile, che accresceva il rendimento; era, nello stesso tempo, un fattore di sicurezza di cui gli operai del XX secolo non beneficiano che in rarissimi casi.

Non si è ritornati a soluzioni simili – e comunque assai eccezionalmente – che a partire dal XIX secolo, quando si ha avuto la possibilità di disporre di nuove risorse in materia di armature e di ripari provvisori.

La costruzione metallica ed il moderno sviluppo della prefabbricazione, infatti, hanno di nuovo permesso di organizzare, in certi casi, dei cantieri di costruzione al riparo dalle intemperie[50], e non soltanto nel caso di rifacimento delle sovrastrutture. Del resto, una tale organizzazione, dove l'armatura precedeva il voltamento, forniva dei preziosissimi punti d'appoggio per il sollevamento delle pietre delle volte. Anche nel caso delle armature leggere, fatte con piccole capriate, che usavano i gotici, era sufficiente collocare alcune travi supplementari di ripartizione per interessare molte piccole capriate e per poter sollevare dei pesi molto forti. I gotici disponevano infatti di tutti i mezzi necessari – paranchi, argani, pulegge e sistemi di carrucole – per sollevare senza difficoltà dei grossi pesi.

Oggigiorno, i tetti vengono calcolati in modo da sopportare un carico di neve o di vento di cento chili al metro quadrato, oltre al peso della copertura. I margini erano probabilmente più grandi nel Medioevo, quando non si calcolavano i carichi, ma si procedeva in base alla tradizione e all'esperienza. Si può verificare, ad esempio, che, nel caso di dieci metri quadrati di armatura, si riusciva agevolmente a reggere una tonnellata, ripartita. Calcolando, per un carico concentrato, la metà del carico ripartito, si vede che, al di sotto di una navata di dodici metri di larghezza, era sufficiente interessare due piccole capriate, cioè un tratto di copertura lungo fra un metro e cinquanta e due metri, per avere un punto d'appoggio capace di reggere un peso compreso fra i novecento e i milleduecento chili. Ciò era largamente bastevole per alzare, in tutta sicurezza,

[49] Interpretazione di J. Fitchen, *op. cit.*, p. 289-295.

[50] In particolare, esperienza del cantiere coperto di 2 rue d'Andigné Paris 16 fatta nel 1926 dall'architetto Lucien Bechmann.

delle pietre, fra le quali le più pesanti – ad esempio le chiavi delle volte – non dovevano superare i cinquecento o i seicento chili. Le pietre più pesanti, in effetti, dovevano essere quelle sommitali della massa di carico, poste prima dell'armatura.

Nel sistema di armatura a base di capriate e di arcarecci, le capriate, concepite per ricevere il carico di tre o quattro metri di copertura nel senso della larghezza della navata, sarebbero state quindi suscettibili, se riprendiamo le stesse considerazioni di prima, di ricevere momentaneamente – a condizione di interessare i puntoni delle capriate, gicché le catene erano di solito sovraccaricate – un carico ripartito di trecento o quattrocento chili al metro lineare, cioè, approssimativamente, un carico concentrato variabile fra le diciotto e le ventisette tonnellate almeno, nel caso di un'ampiezza di dodici metri: era molto più di ciò che bisognava. Ma si deve pensare che i gotici utilizzavano le loro armature anche per reggere le centine o le casserature delle parti superiori delle vele delle volte, parti che era difficile costruire, senza l'aiuto di alcuna centina, a partire da un certo angolo con la verticale, anche tenendo conto della curvatura supplementare che i muratori davano in molti casi a queste vele. Il peso sopportato dalle centine era relativamente limitato poiché, a condizione di costruire in modo regolare tutte insieme le vele a partire dal basso, le vele stesse si sostengono e si reggono a vicenda da sole, a mano a mano che uno strato viene terminato.

Infine, anche le piattaforme, sopra le quali i muratori lavoravano alle parti superiori delle volte, potevano, a maggior ragione, venire sospese alle armature mediante pali o corde: ciò avviene normalmente oggigiorno nel caso di lavori di intonacatura: tale sistema permette di aggiustare assai facilmente il livello della piattaforma mobile secondo le necessità di un lavoro comodo e razionale a portata di mano.

Le piattaforme potevano anche essere sospese o appoggiate sulle centine delle nervature, che restavano sul posto fino al completamento delle vele. Dei cordami di sospensione, alla fine del lavoro, potevano trovarsi presi tra le pietre: tolti in un secondo tempo, essi lasciavano nello spessore del giunto dei fori, facili da tappare dopo l'indurimento della malta e, per questo motivo, del tutto invisibili. Per lo smontaggio delle centine degli archi, quando bisognava farle scendere, si potevano ugualmente impiegare delle corde che passassero per carrucole attaccate all'armatura, grazie a fori lasciati nelle vele. Una volta levate le biette o vuotate le cassette di sabbia, si poteva spostare la centina lungo delle impalcature a livello della base della volta, oppure farla scendere o spostarla al suolo, se vi erano modifiche da apportarle. I fori per i quali passavano le corde attraverso le vele potevano essere tappati in un secondo tempo; alcuni potevano essere utilizzati per appendere i lampadari della chiesa. La discesa o lo spostamento delle centine era un'operazione delicata, soprattutto con i mezzi rudimentali dell'epoca, e richiedeva un'eccellente coordinazione. Si trova traccia

dei problemi che creava tale operazione, nell'epoca della messa a punto di queste tecniche, in un racconto pittoresco, la cui storia miracolosa rimanda certamente ad un avvenimento reale, e che concerne la cattedrale di Durham, un edificio che è precisamente uno dei più antichi esempi di crociera ogivale prima dell'inizio dell'epoca gotica. Si racconta che, alla vigilia del giorno in cui si dovevano trasportare le reliquie di san Cutberto, le centine della volta situata al di sopra della nuova tomba non erano ancora state smontate. Il calendario di lavoro del cantiere non era stato evidentemente rispettato dall'impresa. Questo smontaggio presentava dei problemi difficili, che erano stati risolti. Tuttavia, il mattino del giorno in cui doveva aver luogo il trasferimento, si trovarono le centine posate al suolo, senza alcun danno, né per la volta né per il reliquiario di san Cutberto: questo episodio, rimasto inesplicabile, ci viene presentato come uno dei numerosi miracoli del santo[51].

Tale aneddoto, però, mostra anche che non bisogna dimenticare, fra le altre difficoltà che si presentavano ai costruttori gotici e che imponevano loro sistemi particolari di costruzione, che gli edifici di culto erano quasi sempre costruiti al posto di edifici più antichi, in luoghi venerati e reputati santi da generazioni. Spesso era necessario che il culto potesse continuare ad essere celebrato durante la costruzione e, talvolta, che le reliquie del santo rimanessero nel loro posto consacrato: era questa una ragione di più per adottare la soluzione di impalcature e di centine sospese in bilico, oppure poggianti su supporti molto alti, e per ricercare delle tecniche in grado di permettere, il più rapidamente possibile, di riparare la navata dalle intemperie.

Per ciò che concerne i dettagli di costruzione, i gotici non vedono alcun interesse a darsi dei vincoli che non rientrino nella logica della costruzione. Riguardo alle basi delle colonne, ad esempio, i gotici, che cercano di economizzare la pietra e d'impiegarla al meglio, non si preoccupano dei canoni della proporzione e della similitudine, dei quali potevano aver conoscenza attraverso le opere di Vitruvio. La cosa ha colpito gli architetti delle epoche successive, imbevuti di classicismo artistico. "La base antica aveva la propria sporgenza e la propria altezza regolate secondo il modulo della colonna [...]. Le dimensioni della base gotica si regolano, come quelle del capitello, sull'altezza della pietra di cui si dispone [...]. Questa regola è seguita con tanta franchezza che a Notre-Dame, dove le pietre disponibili non erano di spessore uniforme, il profilo della base cambia d'altezza da una colonna all'altra: tanto per le basi quanto per i capitelli, si rinuncia senz'altro all'uniformità delle dimensioni"[52].

Per evitare le centine durante la realizzazione delle aperture laterali d'illuminazione, i gotici installavano di solito i piantoni delle finestre in modo tale che

[51] C.J. Stranks, *Durham Cathedral*, Pitkin.

[52] A. Choisy, *op. cit.*, II, p. 364.

potessero reggere l'arco nel corso della sua costruzione: ciò è dimostrato dalla maniera con cui sono riuniti fra loro gli elementi di pietra delle finestre e dalla scanalatura, destinata ad inserirsi nella parte alta delle finestre, che è stata osservata in molti di questi archi. Tale schema è visibile in diversi disegni di Viollet le Duc[53].

La specializzazione dei compiti contribuiva anch'essa a garantire una migliore organizzazione del cantiere: per ciò che concerne certi lavori manuali, essa era addirittura più spinta di quel che non accada ai nostri giorni, quando capita di vedere, ad esempio, gli stessi muratori allestire le casseforme, preparare il calcestruzzo, impastare il gesso, spalmare l'intonaco e talvolta anche collocare rivestimenti di pavimenti o di muri. La specializzazione medievale si avvicina piuttosto a quella che, sotto la pressione dei sindacati professionali, è diventata oggi la regola negli Stati Uniti, dove è ormai impensabile far fare a un operaio un solo gesto che sia fuori dai suoi compiti stabiliti. Cavapietre, scalpellini, maltatori, copritori, vetrai, sterratori, carpentieri e falegnami assicuravano, ognuno per i propri compiti stabiliti, il lavoro del cantiere. In certi momenti, degli aiutanti volontari si aggiungevano per svolgere i lavori più duri e trasportare le pietre ed i pezzi di legno, e venivano impiegati per economizzare la mano d'opera qualificata.

Questi pii volontari, che avevano a cuore di partecipare alla costruzione delle cattedrali e che venivano a "portare la loro pietra", erano però – ci viene riferito – sovente mal visti dai lavoratori di professione, ai quali facevano concorrenza. Ma l'organizzazione dei cantieri mirava, secondo logica, a utilizzare solo un minimo gruppo di specialisti altamente pagati. "Anche all'apogeo della costruzione in pietra, nel XII, nel XIII e nel XIV secolo, il numero dei muratori qualificati era scarso in rapporto al numero totale degli operai"[54].

Ma i gotici non dimenticavano l'importanza del "morale" ai fini del rendimento della mano d'opera. Essi non mancavano di rispettare i costumi e le buone tradizioni di cantiere, che ancora oggi, del resto, si osservano. Vi è tuttora la tradizione, in un certo numero di paesi e, in particolare, in Francia, di festeggiare le tappe principali della costruzione di un edificio: l'ultimazione dell'armatura, la messa "fuor d'acqua", come il varo di una nave, sono dei pretesti per feste abbondantemente innaffiate di vino, in Francia, e di birra, in Inghilterra. Quando hanno terminato l'armatura, gli operai hanno l'abitudine di mettere un mazzetto di fiori o una bandiera sulla cima della costruzione, e il "cliente" sa ciò che si attende da lui... Certi vecchi muratori affermano addirittura, in Francia, che le pietre piatte che essi lasciano sporgere fuori dai muri, di tanto in tanto, sono destinate non soltanto a reggere i litri di vino durante il la-

[53] E. Viollet le Duc, *op. cit.*, V, p. 381-387.
[54] D. Knoop e G.P. Jones, *op. cit.*, p. 79.

voro, ma a ricordare la generosità del caposquadra, poiché ad ogni pietra (*boutisse*) sporgente corrisponde una bottiglia (*bouteille*) da lui offerta. Queste tradizioni non sono solo di oggi e i gotici le osservavano già. Ma, come scrive, con un humour tutto britannico, John Harvey[55]: "Il lento procedere della costruzione delle cattedrali medievali avrebbe abusivamente limitato le bevute di birra, se esse fossero state offerte solo in occasione della fine dei lavori – così che si trovarono molte buone ragioni per ripetere la cerimonia. La chiusura di un arco maestro, la sistemazione di una chiave di volta e molte altre tappe del lavoro sembrano soddisfare, in fin dei conti, le condizioni volute". In numerose miniature, del resto, si vedono raffigurate brocche e tazze a portata di mano degli operai, nel loro posto di lavoro. E la cronaca ha conservato traccia di un conflitto che durò trent'anni fra gli operai della cattedrale di Sienne e l'Opera della cattedrale: gli operai finirono con l'ottenere che si offrisse loro del vino proveniente dai vigneti dell'Opera, così da evitare di andare a spendere denaro nelle botteghe della città. L'Opera dovette alla fine rendersi conto che era un vantaggio se gli operai non avevano da spostarsi troppo frequentemente...

Harvey osserva anche che le origini della settimana inglese risalgono all'inizio del XIV secolo: degli operai privilegiati erano infatti autorizzati a interrompere il lavoro al mezzogiorno del sabato. "È con tali sistemi ed in tali condizioni, aggiunge Harvey[56], che furono costruite le cattedrali inglesi". È senz'altro verosimile che lo stesso succedesse in Francia. "Si può affermare che gli operai del Medioevo avevano almeno ottantacinque giorni di festa, tenendo conto delle domeniche"[57].

In ogni paese, si sapeva in tal modo mantenere elevato il morale dei lavoratori: baldorie, pranzi, festeggiamenti occasionali venivano inseriti nel ritmo di lavoro del cantiere. Mantenimento dell'ardore lavorativo, miglior impiego dei mezzi disponibili, semplificazione, standardizzazione e prefabbricazione, economia dei materiali, ingegnosità ed astuzia, perfezionamento degli strumenti, specializzazione degli operai, organizzazione del cantiere: tali furono, insomma, alcune delle risposte che i gotici opposero alle difficoltà della gigantesca operazione da essi intrapresa.

[55] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 64.
[56] *Ivi*.
[57] B. Caceres, *Loisir et Travail du Moyen Age à nos jours*, Seuil, Paris 1974.

L'ADATTAMENTO ALLE CONDIZIONI LOCALI

Se le condizioni ambientali imprimono il loro segno e, in una misura di cui ho cercato di delineare l'importanza, determinano l'architettura, può essere interessante, nel caso della costruzione gotica, indagare entro quali limiti ad un ambiente diverso corrisponda lo sviluppo di una architettura differente. Ulteriori studi appassionanti come quelli che è stato possibile fare sull'architettura gotica sono da affrontare per altri sistemi di costruzione e per altri "stili". Ma sarebbe già fin d'ora interessante tentare di determinare in quale misura alcune differenze nell'ambiente, limitate soltanto a certi fattori, abbiano prodotto, in una stessa epoca, cambiamenti nel sistema di costruzione e nelle caratteristiche di uno stesso stile architettonico. Nel caso dei gotici, questo è già percettibile nelle varianti regionali che si trovano anche in Francia, ma la cosa può essere più istruttiva se si esamina un paese insieme vicino e lontano come l'Inghilterra, che del resto è servito, da una parte, come banco di prova molto precoce per certi elementi della tecnica gotica ed ha conservato, d'altra parte, molto più solidamente che non la Francia, una tradizione gotica nei tempi successivi.

Abbiamo già avuto più volte l'occasione di parlare degli edifici gotici inglesi: il parallelo merita di essere proseguito. Oltre ai paragoni che possono essere fatti con altri paesi, una conferma dell'ipotesi che le tecniche dell'architettura gotica mirano in particolare ad economizzare il legno, e soprattutto i pezzi più grossi, è data dalla geografia del gotico in Francia e dalle peculiari caratteristiche di questo stile in Inghilterra: si constata che lo stile gotico impiegò del tempo prima di penetrare, da una parte, nei monasteri, centri tradizionali di dissodamento, nati generalmente da espropriazioni fatte alle spese delle foreste (Vézelay, Pontigny, Saint-Germer) dove si trovava ancora del legname di sezione sufficiente, e, da un'altra parte, in Normandia, in Alvernia e nella regione del Reno (che, secondo Choisy, sono delle "province romaniche in pieno periodo gotico"): ora, non sono queste le regioni dove era possibile procurarsi il legname più facilmente che altrove? L'Alvernia, grazie alle foreste delle vicine montagne, la regione del Reno, grazie agli alberi dei Vosgi e della Foresta Nera, la Normandia, infine, dove boschi importanti si conserveranno più a lungo grazie a quella politica di preservazione centralizzata che si ritrova in Inghilterra dopo la conquista dei Normanni. Discendenti dei Vichinghi nordici, navigatori e inoltre grandi cacciatori, i principi normanni conoscono il valore del legno; essi sanno quanto tempo sia necessario, nei paesi del Nord, prima che gli alberi arrivino a maturità e siano in grado di fornire i legni di grande sezione e le lunghe tavole indispensabili per la costruzione navale, ma essi intendono inoltre preservare lo spazio entro cui si svolge il loro sport preferito: la foresta.

Il problema del legno, in particolare, prende una nuova luce grazie al paragone che si può stabilire fra la costruzione gotica in Francia e quella in Inghil-

terra. Osserviamo, in primo luogo, che in Francia le vecchie case con facciate di legno sono eccezionali e vengono segnalate come una curiosità pittoresca, mentre invece, in Inghilterra, esse costituiscono un elemento caratteristico e quasi costante del paesaggio urbano. Questo stato di cose non dipende semplicemente dal fatto che gli inglesi sono più conservatori: in materia di costruzione, anche i francesi sono ugualmente portati a conservare i loro vecchi edifici, e sono ugualmente economi: essi si accontentano con più facilità di un patrimonio immobiliare vetusto, rovinato, mal tenuto e con pochi servizi, che solo raramente si danno la pena di rinnovare, mettendone in valore le ricchezze artistiche: gli inglesi, d'altra parte, subito dopo l'ultima guerra, hanno dato prova di un dinamismo edificatorio ben più forte che non i francesi. Non è quindi da questo lato che bisogna cercare la spiegazione. Si potrebbe pensare, invece, che dal XII secolo in poi i francesi abbiano dovuto subire, più spesso degli inglesi, i rigori della guerra e degli incendi. Bisogna ricordare, infatti, che, dopo aver subito numerosi incendi, gli inglesi convocarono, nel 1189 e nel 1212, dei congressi, le "Assise della Costruzione", che stabilirono una sorta di codice della costruzione, con precisi regolamenti per prevenire gli incendi nelle città.

Se l'Inghilterra era più ricca di legname, la Francia era, per altro verso, più ricca di pietre da costruzione. Fu quindi certamente più facile, in Francia, sostituire progressivamente le case di legno con case di pietre – di più o meno buona qualità – nel momento in cui il legno diventava troppo caro per la costruzione urbana.

Si esportava addirittura della pietra della Francia verso l'Inghilterra, e non soltanto a causa delle conseguenze della colonizzazione ad opera dei Normanni e a seguito delle importazioni di architetti dal continente. Un certo numero di cattedrali e di castelli inglesi ebbero degli architetti francesi, ma molti furono gli edifici costruiti con pietra di Francia[58]: e subito dopo la guerra 1939-45 è stata di nuovo esportata oltre Manica della pietra di Caen, per la ricostruzione degli edifici colpiti dai bombardamenti.

In Francia, un buon numero di piccole chiese di campagna hanno soffitti di legno o armature apparenti. In Inghilterra, oltre alle chiese rurali, anche numerosissime cattedrali, abbazie o chiese importanti non sono coperte con volte di pietra. Citiamo a caso fra queste ultime: Ely, Peterborough, Carlisle, St. Albans, Southwell, Rochester, St. Davis, Llandaff, York. Le volte sono frequentemente riservate ai piani situati sotto locali utilizzati – cripte, cantine, depositi – e alle navate laterali, che sono spesso coperte da volte a crociera ogivale; ma le navate principali – anche in edifici molto grandi – sono molto sovente soffittate in legno, talora, del resto, a imitazione di volte con costoloni, così che non sempre ci si accorge della differenza.

[58] D. Knoop e G.P. Jones, *op. cit.*, p. 54 e F. Salzman, *English industries of the Middle Ages*, cit., p. 85.

Poiché la costruzione delle volte presentava problemi ben più difficili che non l'allestimento di armature, gli inglesi, uomini pratici, preferivano spesso evitare la difficoltà: è un inglese che ce lo dice: "Questo lavoro era considerato così difficile nell'Europa Settentrionale[59], che anche là dove delle volte di piccola ampiezza venivano costruite nelle cripte o nelle navate laterali, le navate principali delle chiese solo raramente erano coperte da volte"[60]. Questa tecnica permetteva assai più facilmente di costruire navate di grande ampiezza: nel momento in cui i francesi sembrano accumulare a piacere le difficoltà, elevando le loro volte fino ad altezze incredibili, gli edifici di prestigio degli inglesi si distinguono per le loro dimensioni e per la loro superficie coperta. "La tendenza degli inglesi è verso la lunghezza, tanto nelle loro chiese, quanto nelle prede, di cui si vantano i loro pescatori", ironizza J. Harvey[61].

Già nel 1085, Guglielmo il Rosso, figlio del Conquistatore, faceva costruire a Westminster una sala di settantacinque metri di lunghezza e venti metri di larghezza, la cui ampiezza non sarebbe stata superata, in Europa Occidentale, che centocinquant'anni più tardi. Dimensioni simili reggono il paragone con le più grandi navate dell'antichità – come quella della basilica di Massenzio e Costantino a Roma, che misurava ventotto metri di larghezza e centoventicinque metri di lunghezza, o quello della sala del Trono di Cosroe I e Ctesifonte, che misurava ventotto metri di larghezza. Con dimensioni di questo ordine, costruire in pietra era al di là dei mezzi degli architetti. A proposito della cattedrale di Ely, J. Harvey scrive: "La volta della scala si rivelò al di sopra delle possibilità del muratore: con un'ampiezza di circa settanta piedi (ventuno metri), essa superava di molto i più grandi pezzi di legno disponibili; per coprirla con un'armatura, si dovette ideare un nuovo metodo di costruzione"[62].

Con tali armature, le spinte sono teoricamente nulle e, in pratica, assai ridotte: dei semplici contrafforti sono sufficienti a tener saldi i muri delle navate o a ricevere la spinta delle armature su tettoie che coprono le navate laterali. Lo stile "perpendicolare", che è proprio del gotico inglese, non è forse solamente una decorazione; sovente, esso corrisponde anche all'assenza di sforzi e di spinte oblique. Sempre in Inghilterra, molte chiese sono coperte con piombo: ciò permetteva di costruire coperture dalle minime pendenze. Il fatto è che, assai sovente, i problemi di difesa obbligavano a circolare sopra i tetti, almeno lungo i bordi. I merli, un motivo di decorazione frequente ed anche tradizionale dell'architettura religiosa inglese, erano quindi, all'inizio, degli elementi funzionali. Sia che fossero all'origine (come la massima parte delle grandi chiese e delle

[59] Cioè dell'Inghilterra.

[60] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 103.

[61] *Ivi*, p. 22.

[62] *Ivi*, p. 165.

cattedrali del Regno Unito) delle costruzioni monastiche appartenenti ad abbazie isolate, bisognose di assicurare la loro propria difesa, sia che fossero legati al castello della città nella quale si ergevano, questi edifici religiosi, infatti, venivano spesso concepiti per assicurare le funzioni di rifugio e di difesa. È il caso, in particolare, della cattedrale di Durham che, ai confini nord-orientali dell'Inghilterra, prefigura già, nelle sue volte, le soluzioni generalizzate successivamente dai gotici.

È pure il caso, in Francia, di un certo numero di cattedrali e di chiese costruite al tempo della crociata contro i catari o della guerra dei Cento Anni: ad esempio, le cattedrali di Albi, di Rodez, di Saint-Brieuc sono delle vere e proprie fortezze. Va da sé che in queste cattedrali le aperture di illuminazione sono più ridotte e collocate assai più in alto di quanto non fossero là dove non esisteva alcuna preoccupazione di difesa.

Nelle regioni del Midi e in Spagna, la copertura in tegole o in malta impermeabile poggia talora direttamente sulle volte: è il caso della cattedrale di Siviglia, capitale dell'Andalusia, dove il clima non è molto piovoso. Ma, per evitare di far sostenere dalle volte dei pesi eccessivi, si può conservare in casi simili, come appunto a Siviglia, la normale pendenza dell'estradosso: l'acqua si raccoglie nei quattro angoli della volta a crociera, così come i pesi e le spinte convergono verso i supporti con lo stesso cammino di una biglia lasciata scivolare da sola da un punto qualunque dell'estradosso (metodo di P. Abraham). Ma quanto alle navate laterali, se ve ne sono, è difficile coprirle in questo modo, perché una parte delle acque piovane sarebbe inviata verso la navata principale; si è obbligati, in tal caso, a prevedere un tetto con una pendenza, anche minima, verso l'esterno.

Un tetto piatto, capace di permettere la circolazione al di sopra di una volta, venne realizzato in costruzioni di tipo militare, mediante volte molto massicce e coperture fatte con elementi di pietra, collocati uno sull'altro come gradini a minima pendenza, oppure con prodotti a tenuta stagna, quando era possibile averli (i bitumi erano conosciuti ed utilizzati nel Medio Oriente). In Inghilterra, anche al di sopra di chiese che non avevano un sistema di volte, vennero fatti dei tetti mediante lamine di piombo collocate su una superficie in leggera pendenza. La cosa non era possibile che in un paese dove il piombo non aveva un prezzo troppo alto e dove si usavano delle armature molto massicce, capaci di reggere il peso fortissimo di simili coperture, che inoltre dovevano resistere ai colpi dei proiettili. Più rare sono le cattedrali francesi che rivelano preoccupazioni difensive e funzioni militari, almeno nelle grandi città. La armature leggere, senza arcarecci, dei gotici francesi, disposte secondo forti pendenze, avrebbero resistito male all'impatto di grossi proiettili, mentre le docce che le circondano non si prestavano certo alle evoluzioni dei difensori. Era logico, pertanto, sollevare queste armature il più in alto possibile, affinché fossero

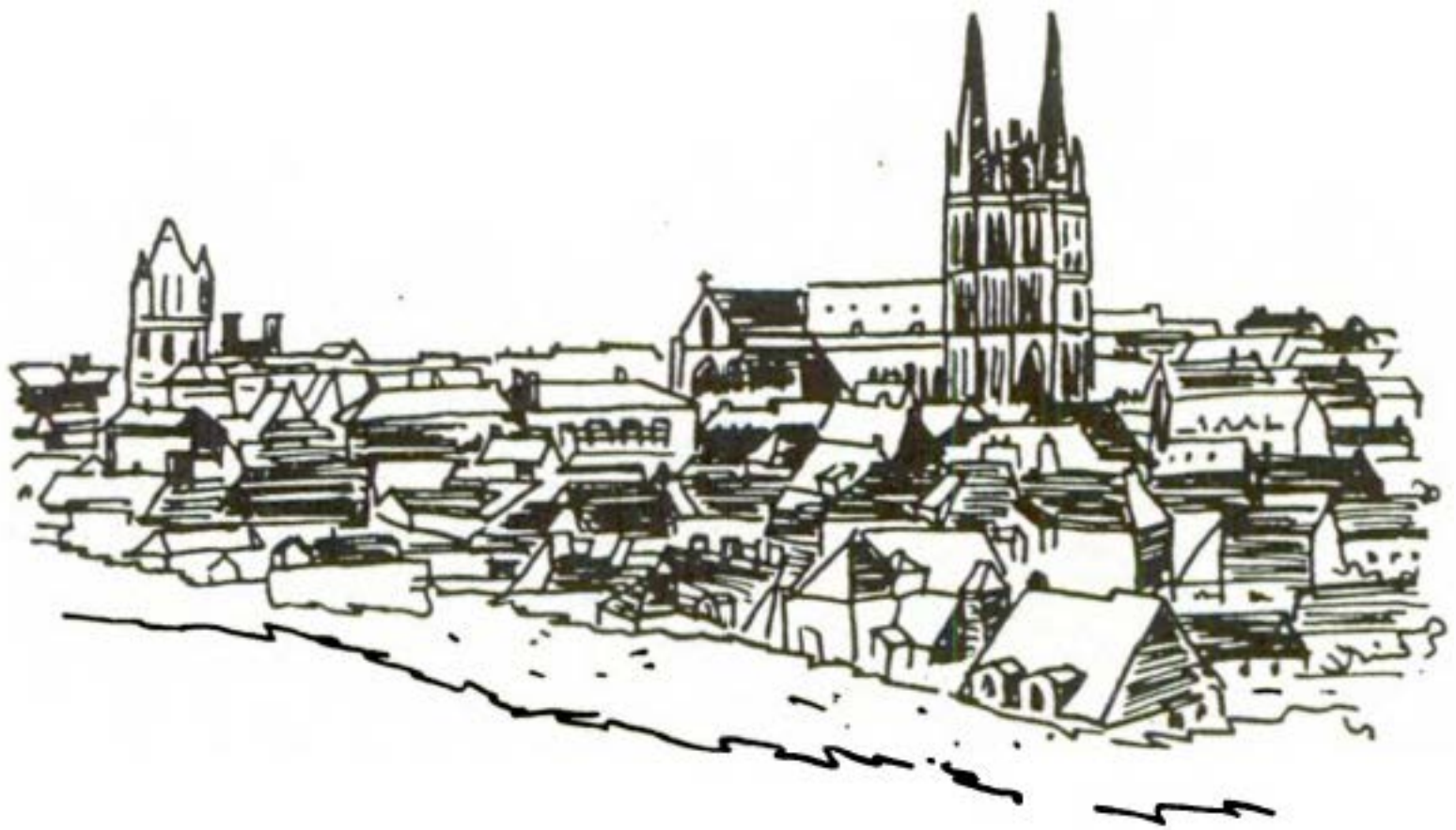
fuori dalla portata di tiro delle baliste e dei trabocchi, quelle formidabili nuove armi con le quali i francesi stupirono i portoghesi durante l'assedio di Lisbona, nel 1147.

Ma forse questo non sarebbe stato un motivo sufficiente a provocare una tale corsa verso l'altezza. Non vi è alcun dubbio che, per ciò che riguarda queste opere di prestigio, alle quali si legava l'orgoglio di una intera comunità urbana, ogni città abbia cercato di superare le vicine. Era una competizione pacifica che produceva tanto entusiasmo quanto una partita di calcio oggigiorno. San Bernardo e Pietro il Cantore tuonarono a più riprese contro questa forma di orgoglio diabolico che spingeva a costruire edifici dispendiosi e sempre più alti, a spese della popolazione più povera. Ma i Cistercensi, le cui chiese si alzavano nel quadro di monasteri ben ordinati, in mezzo a campagne appena liberate, non avevano certo una visione completa del problema quando reclamavano che la Casa di Dio restasse umilmente al livello delle altre case, come Gesù, che era stato uomo fra gli uomini.

Vitruvio, quell'architetto romano che oggi si trascura troppo di leggere, a motivo della noia che ci dà il suo *Trattato* nelle pagine dedicate agli ordini antichi, ma che non mancava di considerazioni logiche e addiritture ecologiche, come rivelano le altre parti (soprattutto il libro VI), è più realista di san Bernardo: parlando della luminosità negli edifici urbani, egli raccomanda di far entrare la luce solare da punti sufficientemente elevati, al di sopra degli immobili vicini: "Conviene preoccuparsi affinché tutti gli edifici siano bene illuminati, ma la cosa è più facile per coloro che vivono in campagna, dove i muri di un vicino non possono opporsi al passaggio della luce solare; in città, al contrario, l'altezza di un muro divisorio e la vicinanza delle case sono causa di oscurità [...]. Se la luce non passa, bisogna fare delle aperture al di sopra degli ostacoli che essa incontra ed introdurla attraverso di esse"[63].

Ora, in Francia, come in Germania, la cattedrale, progressivamente sempre più grande nel quadro già limitato e saturo della città – i cui abitanti non erano, come i Sassoni dell'Inghilterra, un popolo conquistato che era possibile espropriare – è chiusa strettamente fra le case: essa scaturisce e s'innalza dall'amasso confuso dei tetti. Ciò era ancora più evidente nel Medioevo che non adesso, poiché ai nostri tempi, per motivi d'igiene e di pubblica sicurezza, è stata spesso aperta la zona intorno alle cattedrali, come fece Haussmann a Parigi.

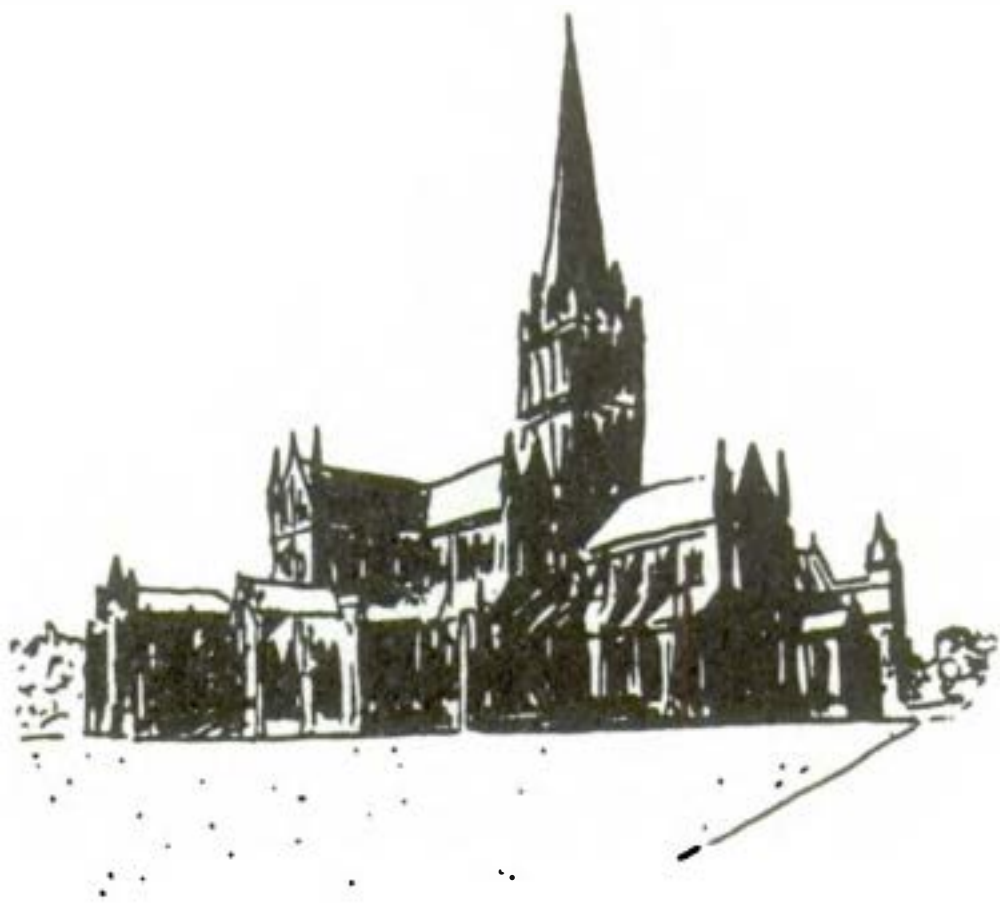
Per introdurre quella luce divina alla quale aspiravano gli uomini del tempo, era insomma indispensabile costruire la chiesa più alta delle case vicine. Una motivazione supplementare vi si aggiungeva ancora: più in alto erano collocate le armature – l'unico elemento combustibile della costruzione – meno esse rischiavano di essere colpite dagli incendi, che divoravano così frequentemente

[63] Vitruvio, *op. cit.*, VI, p. 45.

Cattedrale francese stretta fra le costruzioni urbane (Angers).

le città medievali ed ai quali si devono tante cattedrali gotiche, che bisognò ricostruire per sostituire delle cattedrali più antiche, distrutte dal fuoco.

In ogni caso, comunque, la disposizione stessa delle chiese gotiche, con la navata centrale dominante su quelle laterali, obbligava già ad una grandissima altezza. Viollet le Duc ha dimostrato come, nel caso di Notre-Dame di Parigi, sarebbe stato quasi impossibile dare un'altezza minore alla navata principale, tenuto conto delle pendenze dei tetti successivi e dell'altezza minima delle navate laterali e delle finestre superiori di quella centrale. Sarebbe stata necessaria una diversa disposizione verticale della chiesa, dove le navate laterali fossero alte come la navata centrale e quest'ultima fosse illuminata attraverso le navate laterali, alla condizione, però, che esse non si trovassero troppo attaccate a costruzioni vicine; e ciò ci riporta al problema precedente: il fatto stesso, infatti, che le chiese urbane francesi si trovassero strette fra gli edifici già esistenti può aver contribuito alla scelta di una disposizione architettonica (del resto più maestosa, e tale da far risaltare tutta l'importanza dello spazio centrale in rapporto alle aree di circolazione delle navate laterali), che permetteva di estendere nettamente, almeno di tutta la larghezza della o delle navate laterali, la facciata illuminante principale della grande navata.

Ma se la necessità non avesse obbligato i maestri francesi ad ideare il sistema delle armature senza arcarecci, in modo da poter utilizzare solo piccoli pezzi di legno, i soli disponibili, sarebbe stato loro ben difficile riuscire a portare così in alto le cattedrali.

In Inghilterra, la situazione delle chiese è in generale assai differente: si resta meravigliati davanti agli ampi margini d'isolamento, ai giardini e agli spazi al-

Cattedrale inglese ampiamente liberata da costruzioni e circondata da spazi aperti (Lichfield).

berati che le separano dalla città. In questo paese, gran parte degli edifici religiosi e circa la metà delle grandi cattedrali attuali erano, in origine, delle chiese abbaziali. È questa, insieme alla sistematica conservazione dei cimiteri accanto alle chiese, la causa che ha impresso alla maggior parte delle chiese britanniche quel carattere di insediamento arioso e quella gradevole inserzione entro spazi verdi. Sono spesso degli antichi terreni conventuali rimasti di proprietà della chiesa, dove, a seguito della "nazionalizzazione" dei monasteri effettuata da Enrico VIII, molte costruzioni annesse, divenute senza oggetto, sono cadute in rovina e sono scomparse, mentre la chiesa, che prima si trovava in un agglomerato di edifici, è rimasta da sola in piedi. D'altra parte, anche quando le cattedrali inglesi erano in origine costruite in ambiente urbano, l'esperienza di numerosissimi incendi, in città che fino ad allora erano fatte interamente di legno – comprese le chiese – poté indurre gli inglesi a creare dei margini di sicurezza.

Comunque sia, il fatto che la maggior parte delle attuali cattedrali inglesi non si trovassero, in origine, chiuse fra edifici di tanti piani e potessero trovare la luce assai più in basso, spiega perché molte di queste chiese, anche a partire dall'epoca pregotica, colpiscano per la loro scarsa altezza e per il loro allungamento, se le si paragona con le cattedrali francesi[64].

Le navate laterali, in generale, contribuiscono largamente all'illuminazione, grazie ad aperture che scendono molto in basso e che sono spesso più grandi di

[64] Ad esempio, le cattedrali di Bath, Bristol, Exeter, Canterbury, York, Ely, Hereford, Wells, Gloucester, Lichfield.

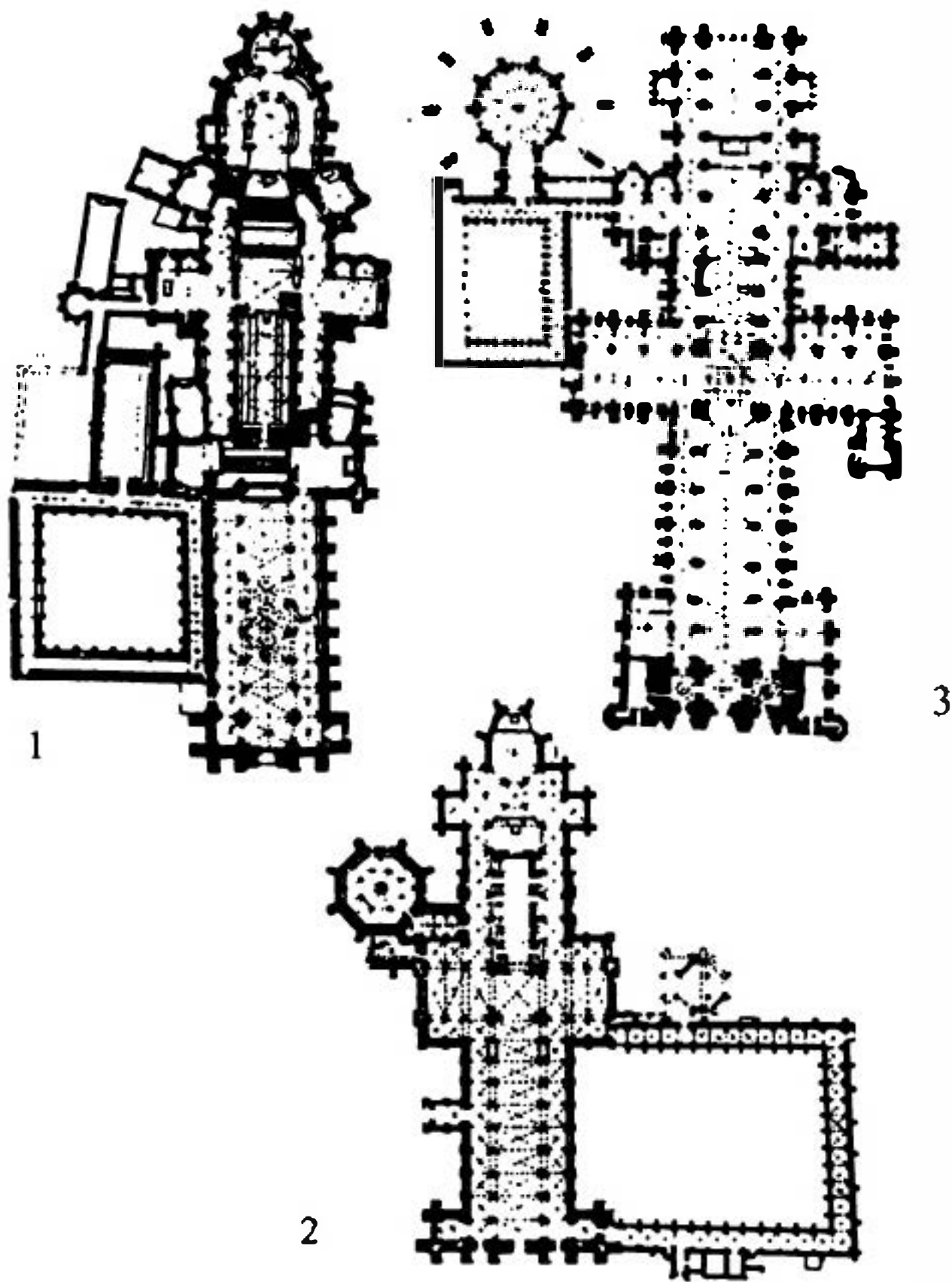
quelle che illuminano la navata principale. Guardando le fotografie prese all'interno delle chiese inglesi, si rimane stupiti nel vedere cosi spesso le aperture scendere fino ad altezza d'uomo, le facciate principali sembrano quasi appiattite, poiché esse mascherano delle volte assai più basse di quelle che sono normali in Francia. Le torri e le guglie, quando ci sono, sembrano, per contrasto, più alte[65]. Nelle città, d'altra parte, anche le chiese che non hanno un'origine monastica sono generalmente isolate da più lati, a causa dei cimiteri o dei terreni liberi appartenenti alla chiesa. L'esigenza di protezione contro gli incendi è tanto più verosimile se si pensa che gli inglesi se ne preoccupavano; nel corso delle Assise della Costruzione del 1189, a Londra, si ricorda che: "Una volta, la maggior parte della città di Londra era fatta di legno e coperta di stoppie, così che, se qualche cosa bruciava, tutta la città veniva incendiata, come accadde durante il primo anno di regno del re Stefano. In seguito a questo, molti cittadini, per ridurre i rischi, costruirono delle case di pietra coperte da tegole"[66].

Nell'insieme, l'Inghilterra beneficiava ancora, nel XII e nel XIII secolo, di una certa abbondanza di legname, grazie alla sua bassa densità di popolazione, alle zone scarsamente abitate nel Nord del paese, alle possibilità di importazione di legno della Scandinavia e anche alle riserve assicurate dalla confisca effettuata dalla Corona di tutte le grandi foreste del reame, dopo la conquista normanna; non si mostrava quindi necessaria la realizzazione di volte di pietra, mentre i problemi di economia del legname per le opere provvisorie non avevano la stessa importanza che in Francia.

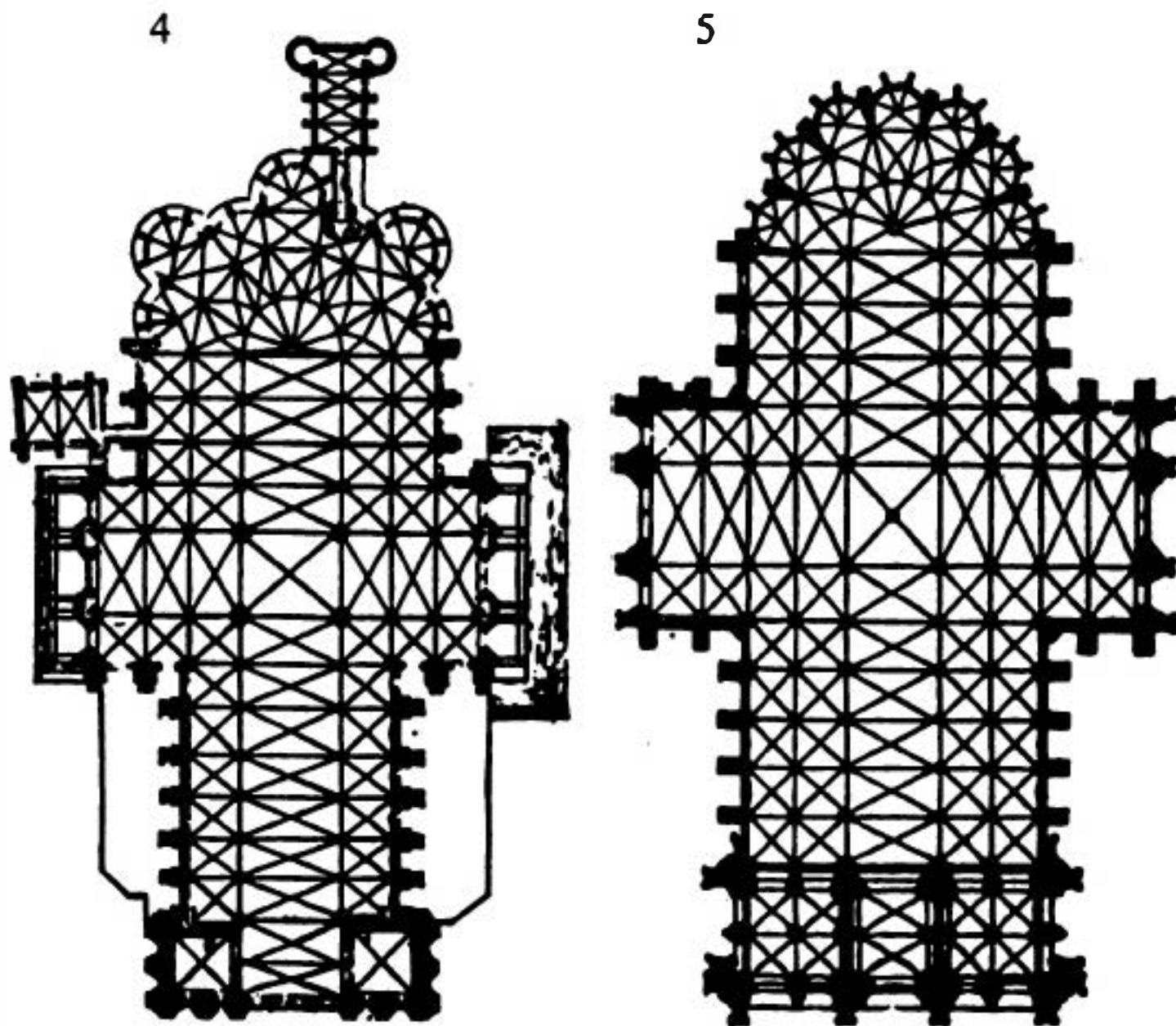
I maestri inglesi, inoltre non avevano molta familiarità con le tecniche della pietra, anche se erano particolarmente qualificati in carpenteria. Tuttavia, il primo esempio di volta ogivale in una grande chiesa si trova nella magnifica cattedrale – antica abbazia – di Durham (1091-1126). Ma questa chiesa, tutta romanica, dove il pieno centro domina fra le arcate che sono contemporanee della volta, ma dove il sesto acuto appare in certi archi doppi trasversali, è di ispirazione francese – o almeno normanna – poiché fu costruita per iniziativa del vescovo Guglielmo di Saint-Carileph, quando, nel 1091, egli ritornò dal suo esilio in Normandia, che gli era stato imposto per aver complottato contro re Guglielmo il Rosso. La costruzione fu terminata dal suo successore Ranulph Flambard, la cui origine è già rivelata dal nome: è lui che fece erigere questo primo esempio conosciuto di volta a crociera su costoloni. Ricordiamo, tuttavia, anche il portico dell'abbazia di Serrabone, nel Rossiglione (1081-1151), che è forse anteriore, ma non rappresenta che una realizzazione assai modesta.

La possibilità di risolvere, tramite i costoloni, il problema delle volte a pianta poligonale venne ugualmente sperimentata molto presto in Inghilterra: si può

[65] Ad esempio, Salisbury, Canterbury, Norwick, Ely.

[66] J. Harvey, *The Medieval Architect*, cit., p. 146.

PIANTE DI CATTEDRALI A CONFRONTO

1) Canterbury (XI-XII sec.); 2) Wells (XII sec.); 3) Lincoln (XII-XIII sec.), (da Harvey); 4) Chartres (inizi XII sec.); 5) Colonia (XIII-XIV sec.).

È da notare l'allungamento delle cattedrali inglesi, che riflette le loro funzioni religiose ed implica un insieme di fedeli suddiviso in differenti categorie. Si tratta spesso, d'altronde, di antiche abbazie. Se paragonate agli edifici inglesi, le cattedrali francesi – luoghi di riunione popolari, non soltanto religiose– appaiono più larghe e più quadrate. Esse sono anche più sviluppate in altezza: ciò è facilitato dalla loro più grande larghezza, che permette l'alleggerimento dei punti portanti e dei sostegni, grazie al maggiore "basamento" dell'insieme. La cattedrale di Colonia, la cui pianta presentiamo come estrema realizzazione dello stile gotico francese, assomiglia a ciò che sarebbe potuta essere la cattedrale di Beauvais se fosse stata terminata (vedere anche le piante di p. 65, 168, 169).

ricordare l'esempio della "Round Church" di Cambridge (chiesa del Santo Sepolcro), che è di stile romanico, ma addirittura ricorda il bizantino, e risale al XII secolo.

Non vi è nulla di sorprendente nel fatto che si trovino in Inghilterra i primi esempi di certe soluzioni tecniche che svilupparono poi i gotici francesi, resisi conto dei vantaggi che esse presentavano e delle loro possibilità. È proprio nei paesi "colonizzati" o nei "paesi nuovi" che gli architetti, come mostrano anche altri esempi più recenti, possono più facilmente effettuare nuove esperienze, vincere le abitudini ed i pregiudizi, per costruire secondo le loro idee, senza temere una mobilitazione di spiriti tradizionalisti locali contro la novità. È per questo motivo che i migliori esempi della moderna ricerca architettonica francese si trovano in Africa. Ed è per questo che gli Stati Uniti prima ed il Brasile poi – entrambi paesi nuovi – sono stati, nella prima metà del XIX secolo, alla testa dell'innovazione in materia di costruzione, mentre in Francia gli esempi innovatori erano rari ed isolati e venivano selvaggiamente criticati e combattuti. "È caratteristico dell'iniziale dipendenza dell'Inghilterra rispetto alla Normandia il fatto che grandissime quantità di pietre continuassero ad essere importate da Caen per più di cento anni dopo la Conquista. Benché la pietra di Caen sia una delle migliori pietre calcaree oolitiche, la sua utilizzazione nell'e-

poca normanna e nei primi tempi del gotico mostra l'ampiezza dell'ignoranza degli inglesi riguardo alle risorse locali"[67].

Ma bisogna anche ricordare che gli esportatori della pietra di Caen possedevano una mano d'opera molto qualificata ed avevano messo a punto delle tecniche razionali che permettevano loro di vendere oltre Manica, a prezzi concorrenziali, la loro eccellente pietra. Bisogna anche ricordare che il periodo in cui questa pietra venne esportata sistematicamente in Inghilterra fu quello durante il quale i re inglesi mantennero il controllo della Normandia, riconquistata nel 1204 da Filippo Augusto. Essi dovevano aver conservato, senza alcun dubbio, alcuni interessi nell'industria delle cave locali – non fosse altro che per le tasse.

Sono proprio gli scambi assai importanti con la Normandia e con la Francia, dopo la conquista e la confisca delle grandi abbazie delle diocesi da parte dei prelati di oltre Manica, che contribuiscono a diffondere il gotico, sotto forma di uno stile ben più che di una tecnologia completa ed integrata. L'arco a sesto acuto, allora, si generalizza, mentre la crociera ogivale comincia ad essere utilizzata sistematicamente per coprire le navate laterali, a motivo dei suoi molteplici vantaggi – per le aperture di illuminazione, in particolare. Ma l'arco a tutto sesto coesiste ancora per lungo tempo con l'arco a sesto acuto, che va imponendosi a poco a poco – forse per motivi di omogeneità, forse anche per soddisfare la moda e l'evoluzione del gusto; ma i suoi diversi vantaggi solo raramente vengono tutti messi a profitto nelle costruzioni gotiche inglesi. Quanto all'arco rampante, esso è raro nell'architettura inglese.

La prima cattedrale dove regni esclusivamente l'arco a sesto acuto è quella di Wells (1175-1260): essa è considerata un momento fondamentale nella storia gotica inglese[68].

La differenza fra la Francia e l'Inghilterra in tutto ciò che concerne l'impiego del legno è sorprendente: ne sono consapevoli anche gli autori inglesi: Fitchen, ad esempio, parla delle prodigalità, del lusso e della profusione, in materia di opere provvisorie o definitive di legno, nella costruzione delle cattedrali inglesi, di contro alle "frugalità" ed alle economie francesi[69] in tutti gli esempi conosciuti. Egli cerca di spiegarne i motivi: in primo luogo, parla della moda (*fashion*), che porta gli inglesi ad imitare col legno le volte di pietra, poi del loro gusto per i soffitti di falegnameria e della tradizione nazionale di costruzione in legno.

Egli accenna alla possibilità di una maggiore difficoltà di reperire in Francia legni di grande sezione, ma cita soltanto il celebre esempio di Suger. Spiega, in-

[67] J. Harvey, *Cathedral of England and Wales*, cit., p. 45.
[68] *Ivi*, p. 119.
[69] J. Fitchen, *op. cit.*, p. 281-286.

fine, che la natura stessa delle volte inglesi "con le loro chiavi in protuberanza" richiedeva delle impalcature considerevoli.

In realtà, è proprio il contrario: lo straordinario sviluppo delle nervature nell'architettura inglese non era possibile che grazie ad una abbondanza di legname, che permetteva la moltiplicazione delle centine indispensabili sotto ognuno di questi elementi.

Si trovano già certe particolarità del gotico inglese, relative all'impiego delle nervature, nel gotico angevino. L'Angiò, culla della famiglia dei Plantageneti che diede dei re all'Inghilterra, da Enrico II a Riccardo II, aveva numerosi legami con questo paese e non fu riunito al territorio del re di Francia che all'inizio del XIII secolo.

I maestri angevini erano a metà strada fra le influenze del puro gotico dell'Ile-de-France e le solide tradizioni del romanico del Sud-Ovest. In questa regione, nel Périgord e nel Saintonge in particolare, forse a seguito di influenze arabe che erano sopravvissute all'occupazione del paese, le cupole avevano conosciuto uno sviluppo particolare. Le volte gotiche dell'Angiò erano costruite come cupole con nervature: in tali volte, le nervature erano elementi più decorativi che funzionali per la costruzione. I maestri le moltiplicarono, quindi, secondo la loro fantasia. "Gli architetti inglesi, sedotti esteticamente dai disegni generati da una tale moltiplicazione di nervature, li adottarono deliberatamente in considerazione del loro aspetto. Delle volte concepite intenzionalmente per formare disegni vennero costruite fin da prima del 1320"[70].

Le principali varianti di questo tipo di volta hanno ricevuto dei nomi che ne evocano ben l'aspetto: volte a stella, volte a rete, volte a ventaglio. Le volte diventarono così, in Inghilterra, veramente delle volte su nervature: queste ultime, infatti, assumono un ruolo strutturale, mentre le vele non sono altro che riempitivi; la dimostrazione più vistosa è data da certi risultati di queste ricerche barocche. Ad esempio, nella volta-scheletro (*skeleton-vault*), con le sue "nervature volanti" (*flying ribs*), di cui si vedono, in particolare, esempi a Bristol (Berkeley Chapel) e a Warwick (volta del coro di St-Mary, fine del XIV secolo), certe nervature sono completamente staccate dalle vele, come le stecche di un ombrello. Si tratta, in realtà, di una prova di abilità per realizzare in pietra ciò che veniva concepito, più logicamente, in legno. Il preziosismo sofisticato delle volte tocca esiti parossistici nelle volte pendenti, che sembrano voler sfidare la forza di gravità: se ne trova un esempio a Westminster, nella cappella di Enrico VII.

Questa moltiplicazione di nervature obbligò gli inglesi, per evitare difficoltà eccessive e spese esagerate, a standardizzare la costruzione, mediante l'impiego di un numero di sagome differenti ridotto al minimo, come hanno osservato vari

[70] J. Harvey, *The Master Builders...*, cit., p. 90.

architetti; ciò diventava, al limite, una sorta di gioco di costruzione con dei cunei tutti tagliati secondo la medesima curva.

Ma questo stile così particolare e questa originale decorazione non potevano svilupparsi, senza causare delle spese redibitorie, che grazie alla ricchezza in legname dell'Inghilterra. Si può ritenere che il consumo di legno di questo paese, il quale era assai meno popolato della Francia – circa cinque o sei volte meno, al momento della "conquista"[71] – non superasse il potenziale di rinnovamento naturale delle foreste. Inoltre, dopo la confisca normanna imposta al paese, l'Inghilterra beneficiò di una protezione draconiana su immense superfici forestali.

Tali misure non erano certo dovute alla "coscienza ecologica" dei conquistatori, ma alla loro consapevolezza dell'importanza economica del legno, materiale universale e combustibile di base dell'epoca, alla loro passione per la caccia e al loro totale disprezzo nei confronti dei diritti delle popolazioni conquistate. Ora, il carbone e la torba sono dei combustibili che, proprio in quest'epoca, cominciano ad essere usati in Inghilterra: ciò non avverrebbe appunto, in larga parte, a causa di questa confisca delle foreste?

L'influenza dello stile inglese sul gotico fiammeggiante e sul *Sonder gotik* (gotico "bizzarro") germanico è verosimile; essa è legata al temporaneo declino della Francia, che dovette subire nel proprio territorio le devastazioni della guerra dei Cento Anni, mentre l'influenza dell'Inghilterra andò invece crescendo fino a quando, politicamente eliminata, nel corso del XIV secolo, dalla maggior parte del territorio francese e definitivamente insularizzata, questa nazione si rivolse verso il mare e trovò la sua vocazione nello sfruttamento coloniale.

[71] Le stime variano fra 1.250.000 abitanti e 3.000.000 nel 1086 e 3.700.000 e 8.000.000 per la prima metà del XIV secolo. Cfr. M.M. Postan, *op. cit.*, p. 32.

Conclusione
Dall'anno Mille all'anno Duemila

È necessario collocare l'epoca gotica nella prospettiva delle grandi trasformazioni che avvennero fra l'anno 500 e l'anno 1500. La spettacolare manifestazione delle cattedrali fu resa possibile da una congiunzione senza precedenti di cambiamenti e di progressi, entro la quale si realizzò quella che, non senza ragione, è stato possibile chiamare "la rivoluzione agricola e industriale del Medioevo".

Lo sviluppo gotico è fondamentalmente legato all'espansione urbana e, in particolare, a quella dei comuni. Si potrebbe trovare, in questo, qualche analogia con il "miracolo greco". Ora, tale sviluppo dello spirito collettivo, che non ha alcun equivalente nel mondo romano che lo precedette, è essenzialmente la conseguenza delle trasformazioni dell'agricoltura nell'Europa Occidentale. Le città, infatti, si sviluppano nella misura in cui una proporzione meno grande di uomini è necessaria per assicurare le sussistenze. Per ottenere un tale scopo, si può ricorrere a diversi metodi.

È possibile ridurre in condizioni di vita molto basse una gran parte della popolazione, così da formare una massa di sfruttati: è il sistema della schiavitù, del servaggio, della miseria contadina; è anche – in modo più abile, poiché si tengono a distanza gli sfruttati e si valorizzano i prodotti fabbricati dai colonizzatori – il principio della colonizzazione. La superiorità militare e l'organizzazione dei romani avevano permesso loro di assicurarsi equilibrio e prosperità per mezzo della schiavitù e della conquista: la superiorità tecnica dell'Occidente, a partire dal Medioevo, condurrà alla colonizzazione, le cui conseguenze durano ancor oggi, con straordinarie disuguaglianze nel tenore di vita fra i paesi sviluppati ed il Terzo Mondo.

Ma esiste un altro metodo: l'aumento dei rendimenti agricoli. Questo processo, che si è sviluppato congiuntamente all'altro a partire dal Medioevo, ha portato a risultati particolarmente spettacolari in certi paesi, grazie alla meccanizzazione ed all'impiego dei concimi: esso ha tuttavia come corollario, nei paesi più "sviluppati", un consumo sfrenato di energia per il settore alimentare, a partire essenzialmente da risorse non rinnovabili, che si accompagna con una bassissima densità di popolazione rurale. È cosl che si ha attualmente un agricoltore ogni cinquanta abitanti negli Stati Uniti, mentre, all'inizio del Medioevo, ci volevano nove coltivatori ogni dieci abitanti. L'aumento di rendimento delle colture, dall'XI al XIII secolo, fu dovuto essenzialmente a progressi tecnici, che indussero profonde trasformazioni sociali. La migliorata utilizzazione del cavallo permise di accelerare il lavoro; ma soprattutto l'impiego dell'aratro con ruote e vomere, uno strumento che era in grado di rivoltare veramente la terra in una sola passata (invece di grattare appena la superficie, come facevano gli aratri precedenti), permise di mettere a coltura le terre umide, pesanti e molto fertili dell'Europa del Centro e del Nord-Ovest. Tale progresso, reso possibile grazie ad un miglioramento del sistema di tiro degli animali, implicava una forma di collettivizzazione delle terre (che appare ancora oggi sul terreno di molte regioni, nei campi a strisce, corrispondenti alle zone di coltura, in opposizione ai prati di forma quadrata o irregolare delle zone di pascolo). Questo tipo di aratro, infatti, offrendo una grande resistenza all'avanzamento, esigeva, soprattutto in una terra pesante, sei o otto buoi, cioè un numero di animali che superava di molto le possibilità del contadino isolato. Esso obbligava, d'altra parte, ad effettuare una ristrutturazione delle terre, poiché non era possibile far girare frequentemente un simile tiro di buoi: il solco, pertanto, doveva essere lungo quanto più era possibile. Cosl come oggigiorno il trattore impone un frazionamento di vaste superfici scoperte (il che può essere conveniente, ma molto spesso si accorda male con le necessità ecologiche), allo stesso modo gli aratri più potenti ed i mezzi di trazione da essi richiesti producono, nel Medioevo, una profonda trasformazione nelle divisioni del terreno ed una particolare organizzazione della collettività rurale. Le tradizioni dell'Europa Centrale non ne erano molto lontane, poiché già la coltura itinerante, di cui Tacito cita l'esempio presso i Germani, richiedeva un'organizzazione collettiva al fine di assicurare la rotazione dei terreni da debbiare: il fatto che la coltura franca abbia ricoperto ed assimilato il *substratum* gallo-romano, pertanto, facilita la transizione: non si ha, insomma, una rivoluzione brutale, quando il sistema collettivo comincia ad essere ugualmente applicato per le terre di coltura permanente.

Cosi, educati ai lavori di campagna, alla vita di collettività, alla responsabilità condivisa, alla discussione per prendere le decisioni comuni, gli uomini del Medioevo, che a poco a poco si raccolgono nelle città a causa dell'aumento della popolazione, dei migliorati rendimenti delle coltivazioni e della crescita degli

scambi, tendono a costituire, del tutto naturalmente, delle collettività organizzate; davanti al potere feudale, esse rappresentano rapidamente delle persone morali effettive, che il re di Francia ha interesse a favorire. Proprio nella costruzione della città e nella edificazione di questa sorta di “segnale” – punto di incontro, luogo di riunione, centro d’informazione e di vigilanza e insieme luogo di preghiera – che è la cattedrale, va prendendo corpo questo nuovo spirito collettivo. Ma la realizzazione delle cattedrali rappresenta, per tali collettività urbane, un onere considerevole, nonostante la relativa prosperità che è portata dai migliorati rendimenti delle colture e dalla crescita degli scambi.

D’altra parte, in queste città, il ritmo della vita cambia: le campane della cattedrale scandiscono l’esistenza quotidiana e ne segnano le tappe e i confini. Per molto tempo, esse continuano a indicare le ore solari, che variano secondo le stagioni e corrispondono ad una divisione in parti uguali della giornata, fra il sorgere del sole ed il tramonto, che la Chiesa non cessa di rispettare. In un’epoca in cui non esisteva una comoda ed efficace illuminazione artificiale, era logico adeguare il lavoro alla durata del giorno solare. L’agricoltura, del resto, che era la base della sussistenza, richiedeva un’attività più intensa durante la bella stagione: ancora ai nostri giorni, le cose non sono cambiate in campagna; gli agricoltori restano, in una certa misura, degli ibernanti, che hanno lunghe giornate in estate e lunghe notti in inverno.

In certi paesi del Mediterraneo meridionale, la durata del giorno solare non varia che da 1 a 1,4, ma a latitudini quali quelle del Nord della Francia essa varia più o meno da 1 a 2, e ancora di più in Inghilterra e nei paesi scandinavi: in tali condizioni, la distorsione nella durata delle ore a seconda delle stagioni impedisce completamente di considerarle come delle unità di tempo utilizzabili. La tendenza della civiltà occidentale a svilupparsi verso il Nord non è, quindi, certamente estranea all’evoluzione delle abitudini in questa materia. Un primo orologio perfezionato, che dava le ore equinoziali, cioè quelle corrispondenti alla suddivisione del ciclo diurno in ventiquattro ore uguali, venne costruito in Cina nell’XI secolo. Vitruvio ha riprodotto un ingegnoso modello di orologio ad acqua che dava per tutto l’anno il tempo solare, senza altra correzione che quella corrispondente agli anni bisestili e senza altra manutenzione che quella destinata ad assicurare la regolarità dell’erogazione e ad evitare le perdite per l’attrito. Ma, in Occidente, i costruttori, che avevano urtato contro la difficoltà di realizzare degli orologi capaci di seguire il tempo solare, non riuscirono a creare strumenti perfezionati ed esatti che a partire dalla fine del XIII secolo. Malgrado l’opposizione della Chiesa (che in Oriente non disarmò mai: la Chiesa ortodossa non ammise mai degli orologi nei propri edifici), il nuovo sistema andò progressivamente imponendosi, poiché era meglio adatto al ritmo urbano della vita. Questa invenzione trasformò l’esistenza quotidiana, imponendole una regolarità indipendente dalle stagioni: ma non è certo che sia stato

interamente un miglioramento, né che la giornata lavorativa dell'operaio, che fino ad allora teneva conto del ritmo naturale, sia stata comunque ridotta durante l'estate. Si può pensare che, per quanto riguarda la costruzione, si venissero a creare delle nuove abitudini, nelle quali non era più tanto considerata l'opera, quanto la durata della sua realizzazione, che da quel momento poteva essere contabilizzata. Ciò introduceva una condizione spirituale completamente differente: il tempo che, fino ad allora, non poteva venire contabilizzato e quindi, in una certa misura, non "contava", diventa di primaria importanza, a spese dell'opera. Si potrebbe ritenere che il fatto di essere pagato all'ora inciti l'operaio a non "pasticciare" e a non sprecare il proprio tempo, ma non è cosl, giacché egli deve al contrario allinearsi a norme che non tengono in nessun conto il suo ritmo di lavoro personale e che penalizzano coloro che impiegano troppo tempo nel fare un certo lavoro, mentre il "qualitativo", la bellezza del lavoro, entrano molto difficilmente in considerazione. Operaio qualificato è ormai chi fa un lavoro normale, tecnicamente irreprensibile, in un tempo minimo, non più chi fa il lavoro più bello, giacché questo è difficilmente misurabile e rimane soggettivo.

Ci si può quindi domandare se le straordinarie realizzazioni gotiche, pazientemente edificate con il lavoro di molte generazioni, sarebbero potute sorgere in questo nuovo quadro, dove il tempo diventava un oggetto misurabile e commerciale, e se la progressiva decadenza dello stile gotico non sia connessa, in una certa misura, alla contabilità delle ore, legata allo sviluppo degli organismi di difesa professionale e dei monopoli corporativi.

Ai nostri giorni, contro l'orologio che fa da sorvegliante, e malgrado la crescita del salario orario, l'edilizia si è difesa un po' meglio che non l'industria: sottomesso all'incognita del maltempo e alle variazioni stagionali, il lavoro in cantiere è più rude di quello che si svolge in fabbrica, ma anche più libero. Il lavoro a cottimo, che ha visto l'opposizione, da un punto di vista sociale, dei sindacati e che, come è ovvio, avvantaggia materialmente gli operai più rapidi, più qualificati e più dotati, si era mantenuto in certi settori: oggigiorno esso riappare nelle fabbriche, presentato come uno strumento di liberazione sotto la forma di mansioni collettive, di lavoro col cartellino o di contratti di gruppo.

Per le collettività urbane del XII e del XIII secolo, ancora sottomesse al ritmo solare della campagna, ma dove vanno specializzandosi i mestieri e sviluppandosi gli scambi, la costruzione delle cattedrali costituisce un onere considerevole, nonostante la relativa prosperità derivata dal migliorato rendimento delle colture e della crescita commerciale.

Si tratterà, pertanto, di costruirle nelle migliori condizioni possibili e di realizzare il massimo con il minimo costo. Da ciò deriva la costante ricerca di un'economia, non nella qualità – o, almeno, raramente – ma nella quantità dei materiali impiegati; da ciò, anche, l'accettazione delle condizioni del mercato e degli

approvvigionamenti. Il legno manca, o almeno certi tipi di legno: se ne farà a meno, oppure si troverà un sistema per far bastare quello che si ha, si eviterà al massimo lo spreco, si riutilizzeranno, dopo uno smontaggio ridotto al minimo, le strutture provvisorie, si ridurranno le impalcature, sostituendole con gli elementi stessi della costruzione.

Il ferro è caro, non lo si userà che nel caso di assoluta necessità. Il trasporto è difficile, costoso e pericoloso: lo si migliorerà, ma, soprattutto, si cercherà di ridurre il peso trasportato. La mano d'opera specializzata e qualificata è rara: si utilizzeranno al massimo le competenze dovunque si trovino, nella cava come al cantiere, ma non si esiterà a far venire da molto lontano il maestro più competente.

Lo stile risultante porterà anch'esso, in ogni dettaglio, il marchio di tutto l'ambiente geografico, economico e sociale; vi sarà intimamente integrato. L'architettura gotica è, in primo luogo, una risposta, adeguata quanto più era possibile e geniale, alle condizioni che regnavano nella Francia urbana, in particolare nella metà settentrionale del paese. I suoi vantaggi e il suo prestigio fecero sì che talvolta essa fosse adottata, e addirittura prevalesse, altrove. Ma, al di fuori dei luoghi dove si verificavano quelle condizioni, il gotico non appare che come uno stile, un ornamento, un'architettura esportata. Nel gotico di esportazione, che non è più condizionato da legami molteplici con l'ambiente socio-ecologico, numerose caratteristiche del sistema completo spariscono e si sviluppano, invece, parecchie "deviazioni". Allo stesso modo, quando si modificano le condizioni nel territorio che era stato la culla dell'architettura gotica, quest'ultima si trasforma: la chiarezza e l'omogeneità del XII e del XIII secolo scompaiono, lasciando il posto al gotico "fiammeggiante" e allo stile spezzettato e decadente del XIV, del XV e del XVI secolo.

I re di Francia non "inventarono" certo l'architettura gotica, ma la loro politica creò un certo numero di condizioni che contribuirono al suo sboccio. Per opporsi alla feudalità ed alla Chiesa, i re di Francia favorirono lo sviluppo delle città e del Terzo Stato. Essi contribuirono a migliorare la sicurezza del traffico e a suscitare la moltiplicazione degli scambi. Favorendo, d'altra parte, lo stabilirsi di collettività rurali di dissodamento e di messa in valore, mediante delle carte di franchigie come quelle di Beaumont e di Lorris, facilitarono, nello stesso tempo, lo sviluppo demografico, la presa di coscienza collettiva e l'impoverimento delle foreste. I re di Francia riuscirono a condurre il loro difficile gioco politico più o meno da Luigi VI a Luigi XI e, nonostante le guerre di religione, questa costante volontà dei re di appoggiarsi sul Terzo Stato riappare continuamente attraverso tutti i mutamenti storici: la progressiva degradazione di tale situazione, che comincia ad apparire nel XVI secolo, condurrà alla Rivoluzione Francese, che rompe definitivamente una congiunzione di interessi che Luigi Filippo tenterà vanamente di risuscitare.

Siamo andati troppo lontani dal nostro soggetto? Al contrario: noi vediamo qui l'importanza – che precisamente fu capitale nella localizzazione iniziale e nello sviluppo del gotico – dei fattori ecosociologici nella storia.

Il fatto che, tra le grandi famiglie, quella dei Capetingi (attraverso, poi, il ramo dei Valois), avendo imposto la propria supremazia, abbia fornito alla Francia i suoi re e sia riuscita a dominare tutto il paese e a realizzare l'unità, non è che l'effetto di eventi casuali e fortunati, sfruttati abilmente da questa famiglia: in primo luogo, ciò avvenne perché essa s'appoggiava sulla parte del paese più ricca in cereali, e quindi in uomini, quella dove l'equilibrio fra le risorse idriche e l'apporto solare era il più favorevole, quella dove la fertilità attendeva, per essere davvero valorizzata, l'apparizione di un certo numero di progressi decisivi nell'ambito dell'agricoltura. Il momento fortunato della Francia medievale in campo europeo, e quello, in primo luogo, del bacino parigino, l'Ile-de-France, era legato alle possibilità agricole: sarà di nuovo questo il motivo essenziale, grazie alle conseguenze demografiche che ne derivavano, del ruolo preminente della Francia dal XVII al XIX secolo.

I vasti bacini sedimentari della Francia, favorevoli alla coltivazione dei cereali, e quindi alla crescita di una popolazione densa ed urbanizzata, favorivano anche la costruzione in pietra, poiché offrivano delle cave sfruttabili senza troppa difficoltà e delle qualità di pietre che si prestavano al taglio e alle differenti funzioni in edilizia: apparecchiatura, riempimento ecc. Se la durezza delle pietre granitiche, che gli strumenti di ferro dell'epoca lavoravano a fatica, è favorevole alla conservazione nel tempo, essa permette difficilmente di eseguire programmi importanti senza l'aiuto di mezzi considerevoli. Non si può pensare che tale natura di pietra durissima fosse ancora compatibile con l'organizzazione della costruzione e con la decentralizzazione romanica, e che essa abbia contribuito, in combinazione, ovviamente, con altre condizioni locali, a rallentare l'evoluzione degli stili nelle zone dove si trovava solo questo tipo di pietra, come in Bretagna, dove si costruiva ancora in gotico nel XVII secolo, o in Alvernia, dove le tecniche romaniche si sono conservate così a lungo?

Diversamente dalla Francia, potenza dominante per la sua popolazione e per le sue risorse agricole, è invece grazie alle proprie capacità industriali – senza dimenticare l'industria della lana, basata in origine sull'allevamento locale e, in seguito, sul commercio con l'estero e sullo sfruttamento delle colonie – che l'Inghilterra costruirà, nel XVIII e nel XIX secolo, la propria potenza e, nonostante un declino a partire dal 1914, riuscirà, negli anni Quaranta, a tenere testa alla Germania nazista.

Ma è di nuovo un'occasione offerta alla Francia dell'anno Duemila, di fronte ai paesi ricchi di giacimenti, quella di essere uno dei paesi meglio forniti di risorse naturali, se solamente essa saprà preservare il proprio terreno coltivabile

dalle molteplici minacce che sono il rivolgimento verso altri fini, la degradazione e l'inquinamento.

Il grande obiettivo dell'anno Duemila è forse, prima di tutto, la liberazione delle terre coltivabili, ottenibile mediante uno sforzo di decentralizzazione, mediante nuove forme di insediamento, mediante un migliore equilibrio fra città e campagna ed un tipo di sfruttamento che sarà basato su un migliore impiego del suolo e su un'economia delle risorse naturali. Allora dovrà apparire una nuova architettura, che non sfiderà più il clima, l'ambiente, le sensibilità regionali e l'equilibrio psichico degli abitanti, e nella quale il sole, di cui i gotici sapevano fare entrare i raggi attraverso le loro immense vetrate, apporterà non solamente la sua luce, ma anche la sua energia calorifica, che si sarà imparato a controllare e ad immagazzinare: una simile architettura climatica ed ecologica appropriata all'ambiente potrà svilupparsi allora, come già era potuta fiorire, ottocento anni prima, l'architettura gotica.

Parigi, giugno 1978

Bibliografia

Esistono numerose bibliografie, ben fatte e molto esaurienti, su questi argomenti, alle quali rinviamo i nostri lettori; la presente fonda il nostro contributo alla materia sull'autorità di differenti autori, e dunque non ha la pretesa di essere completa.

Ove possibile, abbiamo indicato il nome dell'editore, al fine di agevolare quanti, tra i lettori, desiderino cercare alcune delle opere citate. La data tra parentesi è quella della prima edizione (quando è nota), mentre quella indicata di seguito si riferisce all'edizione consultata (alla quale fanno riferimento i numeri di pagina indicati nelle note).

Le circostanze della consultazione delle opere menzionate, avvenuta nell'arco di circa quindici anni (e spesso anteriore alla data in cui avevamo programmato di redigere la presente opera), non ci hanno permesso di precisare esattamente la pagina per tutti i passaggi citati.

Quando l'iniziale del nome dell'autore può dar luogo a incertezze riguardo alla posizione alfabetica (nomi doppi, dubbio tra nome e cognome e così via), si rimanda alla lettera corrispondente. Gli autori noti con uno pseudonimo sono elencati sulla base di quest'ultimo.

Per le opere di uno stesso autore, in ragione delle riedizioni (che talora presentano raggruppamenti o varianti), l'ordine di enumerazione non è cronologico, ma si basa sulle date di consultazione dell'opera citata. Gli articoli dei periodici citati vengono in genere elencati nella presente bibliografia sotto il nome dell'autore, salvo note concernenti alcuni testi non specializzati o fonti aneddotiche di informazione.

Abraham P., *Viollet le Duc e le rationalisme médieval*, Vincent Fréal, Paris, 1934.
Alain (Chartier Emile Alain), *Système des Beaux-Arts*, Paris, 1920.
Id., *Vingt leçons sur les Beaux-Arts*, Paris, 1931.
Id., *Entretiens chez le sculpteur*, Paris, 1937, raggruppati sotto il titolo *Les Arts et les Dieux*, Éd. de la Pléiade (N.R.F.), Paris, 1958.
Id., *Propos (1906-1936)*, Éd. de la Pléiade (N.R.F.), Paris, 1956.
Anselme M. e Porcher J., *L'art cistercien en France*, Zodiaque, 1962.

Aubert M., *L'architecture cistercienne en France*, Paris, 1947.
Id., "Les plus anciennes croisées d'ogive, leur rôle dans la construction", in *Bulletin Monumental*, vol. 93, Paris, 1934.
Aubert M. e Verrier J., *L'architecture française è l'époque gothique*, Paris, 1936.
Baltrusaitis J., *Le problème de l'ogive et l'Arménie*, Le Roux, Paris, 1936.
Barrau J., "Culture itinérante, culture sur brûlis, culture nomade, écobrûlage ou essartage? Un problème de terminologie agraire", in *Etudes Rurales*, n. 15, 1972.
Bastide R., *Art et société*, Payot, Paris, 1977.
Bautier A.M., "Les plus anciennes mentions de moulins hydrauliques industriels et de moulins à vent", in *Bulletin philologique et historique*, 1960.
Bautier R.H., *The economic development of medieval Europe*, Thomas Hudson, London, 1971.
Id., *Le relations commerciales des occidentaux avec les pays d'Europe au Moyen Age*, Congrés d'Histoire Maritime, 1969.
Bechmann R., "L'énergie hydraulique", in *Aménagement et Nature*, n. 42, Paris, 1976.
Id., "L'architecture gothique: une expression des conditions du milieu", in *Pour la Science*, ed. fr. di *Scientific American*, n. 4, Paris, 1978.
Id., "Des forêts à l'architecture", in *Aménagement et Nature*, n. 53, Paris, 1979.
Benoit F., *Histoire de l'outillage rural et artisanal*, Paris, 1947.
Bertrand G., "Pour une histoire écologique de la France rurale", in *Histoire de la France rurale*, t. I (cfr. Duby G.).
Blaine Bradfort B., *The application of waterpower to industry during the Middle Ages*.
Bloch M., *La société féodale*, 2 vol., Paris (1939-1940), 1949.
Id., *Les caractères originaux de l'histoire rurale française*, 2 vol., 2ᵉ ed., Paris, 1956.
Booin J.A. Van der, *Die Kunst des glazeniers in Europa 1100-1600*, Amsterdam, 1960.
Booz P., *Der Baumeister der Gotik*, Berlin, 1956.
Bordonove G., *La vie quotidienne des Templiers au XIIIᵉ siècle*, Hachette, Paris, 1975.
Briggs M.S., *The architect in history*, Oxford, 1927.
Brooke C., *The twelth century Renaissance*, Thames & Hudson, London (1961), 1969.
Bruyne E. de, *Etudes d'esthétique médiévale*, Bruges, 1947.
Id., *L'esthétique du Moyen Age*, Louvain, 1947.
Caceres B., *Loisir et travail du Moyen Age à nos jours*, Seuil, Paris, 1974.
Cali e Moulinier S., *L'ordre ogival*, Paris, 1963.
Capot-Rey R., *Géographie de la circulation*, N.R.F.-Gallimard, Paris, 1946.
Carus-Wilson E.M., "An industrial revolution of the XIII century", in *Essays in Economic History*, London, 1954.
Id., *Essais in economic history*, vol. I e II, London (1941), 1962.
Chartrier cfr. Alain.
Chauvel, *Les monuments historiques de la France*, avril-juin, 1956.
Id., "La taille des pierres", in *Bulletin Monumental*, XCIII, 1934.
Choisy A., *Histoire de l'architecture*, Baranger, Paris, 1926-1929 (t. I: "Antiquité"; t. II: "Moyen Age et Renaissance").
Clagett, *The science of mechanics in the Middle Ages*, Madison, 1956.
Clout H.O. e Phillips, "Fertilisants minéraux en France au XIXᵉ siècle", in *Etudes Rurales*, n. 45, 1972.
Colombier P. du, *Les chantiers des cathédrales*, A.J. Picard, Paris, 1973.
Colvin H.M., *The history of the king's works. The Middle Ages*, London, 1963.

Id., *Building accounts of King Henri III*, Clarendon Press, Oxford, 1971.
Corroyer E., *L'architecture gothique*, Lib. Imp. Réunies, Paris, 1891.
Damisch, "Viollet le Due, l'architecture raisonnée. Introduction", in *Miroir de l'Art*, 1964.
Davy M., *Essai sur la symbolique romane*, Paris, 1955.
Decarreaux J., *Les moines et la civilisation*, Paris, 1962.
Derry T.K. e Blakeway M.G., *The making of early and medieval Britain*, Cow and Wyman, London (1968), 1973.
Dimier Pére A., Surchamp Don A. e Porcher J., *L'art cistercien*, Zodiaque, 1962.
Dion R., *Histoire des levées de la Loire*, Paris, 1961.
Drake S., "Galileo and the first mechanical computing device", in *Scientific American*, n. 4-234, New York, april 1976, p. 104.
Duby G., *L'économie rurale et la vie des campagnes dans l'Occident Médiéval*, Aubier, Paris, 1962, t. I e II.
Id., *Guerriers et paysans*, N.R.F., Paris, 1976.
Id., *Saint-Bernard et l'art cistercien*, N.R.F., Paris, 1976.
Id., *La société aux XI^e et XII^e siècles dans la région mâconnaise*, Paris, 1953.
Id., *Le temps des cathédrales*, N.R.F., Paris, 1976.
Duby G. e Mandrou R., *Histoire de la civilisation française*, Paris, 1958.
Duby G. e Wallon A., *Histoire de la France rurale*, Seuil, Paris, 1975-1976 (t. I: "Bertrand G., Bailloud G., Bertrand C., Le Glay M., Fourquin G."; t. II: "Neveux H., Jacquart J., Le Roy Ladurie E."; t. III: "Agulhon M., Desert G., Stecklin R."; t. IV: "Gervais M., Jollivet M., Tavernier Y.").
Dufourcq Ch. E., *La vie quotidienne dans les ports méditerranéens au Moyen Age*, Hachette, Paris, 1975.
Edlin H.L., *Forestry in Great Britain*, Forestry Commission, London, 1969.
Enlart C., *Manuel d'archéologie française*, A. Picard, Paris, 1927.
Eschapasse M., *L'architecture bénédictine en Europe*, Deux Mondes, Paris, 1963.
Evans cfr. Seiriol E.
Fagnez G., *Etudes sur l'industrie et la classe industrielle à Paris au XIII^e siècle et au XIV^e siècle*, Paris, 1877.
Faral E., *La via quotidienne au temps de Saint Louis*, Hachette, Paris (1942), 1956.
Fawtier R., "Les capétiens directs", in *Histoire Universelle*, Éd. de la Pléiade (N.R.F.), Paris, 1957.
Feldhaus F.M., *Die Technik der Vorzeit des geschichtlichen Zeit und Naturvölker*, Leipzig, 1914.
Fitchen J., *The construction of gothic cathedrals. A study of medieval erection*, Clarendon, Oxford, 1964.
Florisoone M., *Dictionnaire des cathédrales de France*, Larousse, 1971.
Focillon H., *Art d'Occident*, Armand Colin, Paris, 1947 (t. 2, "Le Moyen Age Gothique", 1971).
Id., "Le problème de l'ogive", in *Bulletin de l'Office des Instituts d'Archéologie et d'Histoire de l'Art*, n. 3, mars 1953.
Id., *L'an mil*, Paris, 1942.
Forbes R.J., *A history of technology*, London, 1956.
Id., *Studies in ancient technology*, Brill, Leiden, 1965.
Forquin G., *Histoire économique de l'Occident médiéval*, Armand Colin, Paris, 1969.

Id., "Le premier Moyen Age. Le temps de la croissance. Au seuil du XIV[e] siècle", in *Histoire de la France rurale*, t. I (cfr. Duby).
Gille B., *Histoire générale des techniques*, Daumas, Paris, 1962.
Id., "Les problémes de la technique minière au Moyen Age", in *Revue Historique des Mines*, t. I, n. 2, Paris, 1969.
Gimpel J., *Les bâtisseurs de cathédrales*, Seuil, Paris, 1958.
Id., *La révolution industrielle du Moyen Age*, Seuil, Paris, 1975.
Goglin J.L., *Les misérables dans l'Occident médiéval*, Seuil, Paris, 1976.
Gourou P., *Pour une géographie humaine*, Flammarion, Paris, 1973.
Id., *Cours de géographie tropicale*, Mouton, Paris, 1971.
Grodecki L., Mutherich F., Taralon J., Wormald F., *Le siècle de l'an mil*, Gallimard, Paris, 1973.
Hahnloser R., *Villard de Honnecourt*, Wien, 1935.
Halifax Lord, "Le sauvetage d'une grande cathédrale", in *Le Bâtiment*, avril 1972.
Harvey J., *The medieval architect*, Wayland, London, 1972.
Id., *The master builders. Architecture in the Middle Ages*, Thames & Hudson, London, 1971.
Id., *Cathedral of England and Wales*, Batsford, London (1950), 1974.
Id., *English medieval architects. A biographical dictionary down to 1540*, Batsford, London, 1954.
Id., *The medieval craftsmen*, Drake, New York, 1975.
Hauser A., *The social history of art*, Routledge, London, 1951.
Henley W. of, *Husbandry*, E. Lamond.
Hodgett G.A.J., *A social and economic history of medieval Europe*, Methuen, London, 1972.
Hotlby R.T., *Carlisle Cathedral*, Pitkin, London, 1972.
Honnecourt Villard de, *Album publié par J.B.A. Lassus*, Laget, Paris (1858), 1976.
Huffel G., *Economie forestière*, 3 vol., Laveur, Paris, 1913.
Hull R.B., *On Ali Saint's church*, Northampton.
James J., *Chartres: 1977-1978, les constructeurs*, S.té Archéologique d'Eure-et-Loire, 3 t., Chartres, 1977.
Joinville J. Sire de, *Histoire de Saint Louis*, tr. N. de Wailly, Firmin Didot, Paris, 1874.
Jouvenel B. de, *Le capitalisme américain*, N.R.F. Gallimard, Paris, 1933.
Kimpel D., "Le développement de la taille en série dans l'architecture médiévale", in *Bulletin Monumental*, n. 135, III, Paris, 1977.
Knoop D. e Jones G.P., *The medieval mason*, Manchester U.P., Manchester, 1949.
Langlois Ch.V., *La vie en France au Moyen Age*, t. IV, Paris, 1927.
Lassus J.B. cfr. Honnecourt Villard de.
Lasteyrie R. de, *L'architecture religieuse à l'époque gothique*, 2 vol., Paris, 1962.
Id., *L'architecture en France à l'époque romane* (2[e] ed.), Paris, 1929.
Lavedan P., *Histoire de l'urbanisme*, 2 vol., Paris (1926), 1941.
Lefebvre des Noettes R.J., *L'attelage. Le cheval à travers les âges*, 2 vol., Paris, 1931.
Id., *De la marine antique à la marine moderne*, Paris, 1935.
Le Goff J., *La civilisation de l'Occident médiéval*, Arthaud, Paris, 1964.
Id., *Marchands et banquiers au Moyen Age*, Paris (1956), 1962.
Id., *Les intellectuels au Moyen Age*, Seuil, Paris, 1957.
Le Roy Ladurie E., *Histoire du climat depuis l'an mil*, Flammarion, Paris, 1967.
Id., *Postface à l'Histoire de la campagne française*, cfr. Roupnel.
Macaulay D., *Naissance d'une cathédrale*, Boston, 1973; Les 2 coqs d'or, Paris, 1974.

Mark R., "L'église de Saint-Ouen à Rouen, une réexamination de la structure gothique", in *American Scientist*, n. 56/4, 1968, p. 390.
Id., "The structural analysis of gothic cathedrals", in *Scientific American*, nov. 1972.
Martin St Leone E., *Histoire des corporations, des métiers*, Paris, 1897.
Masson H., "Le rationalisme dans l'architecture du Moyen Age", in *Bulletin Monumental*, XCIV, Paris, 1935, p. 29-30.
Moore C.E., *Development and character of gothic architecture*, Macmillan, New York, 1906.
Mortet V. e Deschamps F., *Recueil de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des architectes en France au Moyen Age, XII[e]-XIII[e] siècle*, Paris, 1929.
Moulin R., Dubost F., Gras A., Lautman J., Martinon J.P. e Schnapper D., *Les architectes*, Calmann-Lévy, Paris, 1973.
Mumford L., *La cité à travers l'histoire*, Seuil, Paris (1961), 1964.
Id., *Technique et civilisation*, Seuil, Paris, 1950.
Needham J., *Science and civilisation*, Cambridge (1951), 1965.
Nicholson M.A., *The environmental revolution*, Hodder and Stoughton, London, 1970.
Oschensky D., *Walter of Henley and other treatises on estate management*, Clarendon, Oxford, 1971.
Oursel R., *Invention de l'architecture romane*, Zodiaque, Paris, 1970.
Panofsky E., *Abbott Suger on the abbey church of St Denis and its treasures*, Princeton, 1946.
Id., *Gothic architecture and scholasticism*, New York (1951), 1957.
Parain Ch., *The agrarian life of the Middle Ages*, Postan, Cambridge, 1966.
Parent M., "Peut-on et doit-on parler d'Ecologie Culturelle?", in *Aménagement et Nature*, n. 36, Paris, 1975.
Pernoud R., *Lumière du Moyen Age*, Paris, 1944.
Id., *Les origines de la bourgeoisie*, Paris, 1947.
Id., *Les croisés*, Hachette, Paris, 1959.
Id., *Histoire du commerce de Marseille*, Plon, Paris, 1949.
Id., *Pur en finir avec le Moyen Age*, Seuil, Paris, 1977.
Peyre R., *Histoire générale des Beaux-Arts*, Paris, 1900.
Pirenne H., *Histoire économique et sociale du Moyen Age*, P.U.F., Paris, 1969.
Id., *La ville et les institutions urbaines*, 2 vol., Paris, 1939.
Postan M.M., *The medieval economy and society*, Penguin, London, 1972.
Quicherat J., *Mélanges d'archéologie et d'histoire*, 2 vol., Paris, 1886.
Rabelais F., *Oeuvres complètes*, Garnier Frères, Paris.
Ragon M., *L'homme et les villes*, Albin Michel, Paris, 1975.
Id., *L'architecte, le prince et la démocratie*, Albin Michel, Paris, 1976.
Rambach P. e de Golish V., *L'Inde, images divines*, Arthaud, Grenoble, 1954.
Rees W., *Industry before the industrial revolution*, University of Wales Press, Cardiff, 1968.
Reynolds J., *Windmills and watermills*, Hugh Evelyn, London, 1970.
Richard, *L'homme et les métaux*, Gallimard, Paris, 1938.
Rivals C., *Le moulin à vent et le meunier*, Serg, Ivry, 1976.
Roupnel G., *Histoire de la campagne française*, Plon, Paris (1932), 1974.
Rousseau P., *Histoire des techniques*, Fayard, Paris, 1956.
Id., *Histoire des transports*, Fayard, Paris, 1961.
Salzman F., *English industries of the middle ages*, Clarendon, London, Delft, 1964.

Id., *Building in England down to 1540*, Clarendon, Oxford, 1967.
Sautter G., Julliard E., Meynier A., Planhol X. de, *Structures agraires et paysages ruraux*, Nancy, 1957.
Scobeltzine A., *L'art féodal et son enjeu social*, N.R.F., Paris, 1973.
Seiriol E., *Gloucester cathedral*, Pitkin, London, 1969.
Serres O. de, *Le théâtre rural ou mesnage des champs*.
Sicard G., *Aux origines des sociétés anonymes, les moulins de Toulouse au Moyen Age*, Armand Colin, Paris, 1953.
Simson O. Von, *The gothic cathedral: origin of gothic architecture*, London, 1958.
Stranks C.J., *Durham cathedral*, Pitkin.
Suger Abbé cfr. Panofsky.
Théophile M., *Traité des divers arts (De diversis artibus)*, Paris, 1924.
Toynbee A., *Les villes dans l'histoire*, Payot, Paris, 1977.
Vergez R., "Autour de 600 ans de constructions navales", in *Bois d'aujourd'hui*, n. 34, Paris, 1971.
Villard de Honnecourt cfr. Honnecourt Villard de.
Vinogradov P., *The growth of the manor*, Newton Abbott-David e Charles (1911), 1968.
Viollet le Duc E., *Histoire d'un hôtel de ville et d'une cathédrale*, Hetzel, Paris.
Id., *Histoire d'une forteresse*, Hetzel, Paris.
Id., *Lettres inédites*, Morel, Paris, 1902.
Id., *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e^ au XVI^e^ siècle*, 10 vol., Paris.
Vitruivius Pollio, *L'architecture*, Panckoucke, Paris, 1847.
Watson Th.L., *The double choir of Glasgow cathedral*, Hedderwick, 1910.
White L., *Technologie médiévale et transformations sociales*, Mouton, Paris, La Haye, 1969.
Id., *The expansion of technology (500-1500)*, Collins Clear, London, Glasgow, 1969.
Wilson C. cfr. Carus.
Woodward G.W.D., *The dissolution of the monasteries*, Pitkin, London, 1974.

Glossario

Questo elenco alfabetico non vuole essere un lessico di termini tecnici, bensì rappresentare un complemento alla presente opera, nel quale figurano non solo definizioni a uso dei non esperti, ma di tanto in tanto anche alcuni commenti che, mediante l'etimologia – certa o probabile – o la storia dei termini stessi, ne chiariscono il senso e spesso forniscono materia per riflessioni utili sull'argomento. Le accezioni correnti dei termini non sono in genere indicate nelle definizioni che seguono.

Aggregato
Materiale costituito da piccoli elementi tenuti insieme da un "legante" (cemento, calce ecc., malta o calcestruzzo).

Aia
Superficie piana sulla quale si può disegnare o incidere – analoga alla superficie piana che in francese ha lo stesso nome (*aire*) – sulla quale si "battono" i cereali per separare i chicchi dalla pula.

Alburno
Parte che si trova sotto la corteccia di un albero, più tenera e meno resistente del durame. Nell'edilizia, i tronchi che comprendono alburno vengono scartati. Questa parte è in genere più chiara del resto del legno, il che forse giustifica un'etimologia dal latino *albus*, bianco.

Antagonista
Si dice "antagonista" una forza che si oppone a una forza diversa (ad esempio, l'arco rampante contro la volta).

Apparecchiatura
Disposizione degli elementi in pietre a vista o eventualmente in mattoni per la costruzione (o la pavimentazione).

Arcareccio
Struttura orizzontale che porta da una capriata all'altra e sostiene i travicelli. L'arcareccio superiore di un'orditura di tetto si chiama arcareccio di colmo, quella inferiore arcareccio inferiore.

Arcareccio inferiore
Designa la parte inferiore di una struttura di colmo, quella che poggia sul muro (per il tramite di un letto di malta o, anticamente, di sabbia, che serve a ripartire il peso).

Arcata
Serie di archi successivi che si contraffortano gli uni con gli altri, oppure l'analogo motivo decorativo.

Architrave
Elemento portante orizzontale rettilineo posato tra due punti di sostegno. Il francese *linteau* è derivato da un "incrocio" tra le parole latine *limen* (soglia) e *limes, limitis* (frontiera, limite, bordo).

Arco
(tecnologia delle armi) Arma composta da un elemento affusolato (legno, metallo o plastica) le cui due estremità sono collegate mediante una corda che, messa in tensione, "apre" l'arco curvandolo.
(edilizia) Opera composta da piccoli elementi che si appoggiano gli uni contro gli altri per il tramite di giunti a raggiera. In genere, ha una forma curva (*vedi anche* "volta").
(geometria) Segmento di curva; la corda è la retta che unisce le due estremità del segmento.
(*vedi anche* "freccia")

Arco a sesto acuto
Arco formato da due parti curve che si raccordano in modo che le tangenti alle due curve nel punto di intersezione formino un angolo più o meno acuto.

Arco a tutto sesto
Arco (o volta) tracciato secondo una curva a semicerchio. Si tratta di una curva senza interruzioni né fratture. Pertanto, all'espressione francese *plein cintre* potrebbe essere sostituita l'altra, più logica, *plain cintre* (cfr. i termini *plan*, piano, e *plaine*, pianura, e l'inglese *plain* con significato analogo: quindi piatto, senza gobbe, uniforme). Ma anche l'ortografia *plein cintre* può essere giustificata dal fatto che si tratta di una curva senza interruzioni, ampia e non "spezzata". Tuttavia, quali che siano l'etimologia e l'ortografia, è unanime il consenso sul significato sostanziale.

Arco di scarico o Sordino
Arco disposto al di sopra di un architrave, atto a trasferire il peso della muratura sovrastante alle due estremità dell'architrave, onde evitare che quest'ultimo debba sostenere il carico.

Arco doppio
Arco saliente sotto una volta che la suddivide e talvolta la rinforza localmente, una sorta di spessa nervatura. Il termine è però riservato agli archi che tagliano la volta di una navata perpendicolarmente all'asse di quest'ultima (o, nel caso di una volta toroidale, che risultano paralleli a piani passanti per il centro di rotazione del toro).

Arco rampante
Semiarco che serve da piedritto a un arco o una parte di volta e che riporta la spinta su un blocco in muratura posto a una certa distanza dal piede della volta.

Armatura
Rinforzo localizzato (generalmente in metallo, talvolta in legno) di una muratura.

Assicella
Tavoletta di legno lunga e piatta (in genere tagliata e non segata) che serve come elemento di copertura. Il termine francese *bardeau* appartiene alla famiglia del verbo "lardellare", che significa coprire, avvolgere (impiegato in salumeria) e anche rivestire, caricare (impiegato nell'edilizia). Il *bardage* (tavolare) è un rivestimento esterno verticale. Nel Medioevo, i cavalieri si "bardavano" di ferro.
Striscia di legno di sottile spessore utilizzata in carpenteria sotto gli elementi della copertura. Le assicelle si posano mediante giunti o a gabbia.

Asta
Bacchetta in legno di sezione rotonda, sottile e allungata.

Balestra
Antica arma, che consisteva in un arco perfezionato molto potente, teso mediante un sistema di leve o di manovelle. L'etimologia deriva da *balista* (dal greco *ballein*, gettare).

Basamento
Struttura di base coperta da un elemento in muratura, ivi compresi eventuali vuoti (nel caso di un arco rampante o di una volta, ad esempio). Il basamento di un contrafforte si confonde con la dimensione maggiore della sua base, perpendicolare al muro cui è addossato.

Base
Parte inferiore di una colonna (o di un pilastro), in genere di sezione più larga del resto (per ripartire il carico) e spesso modanata.

Bastita

Opera distaccata di una fortificazione. Il termine designa anche una torre di legno costruita da forze d'assedio e spesso mobile. Il termine francese *bastille* appartiene alla stessa famiglia di *bâtir* e *bâtiment*, costruire, costruzione...

Battifredo

In origine, costruzione in legno che costituiva un'opera di difesa o di attacco (torre fissa o mobile). In seguito, il termine designò un'analoga torre in legno che sostiene le campane e che dev'essere isolata dalla muratura per evitare di trasmettere le vibrazioni.

Etimologia: il francese *beffroi* deriva dall'antico *berfroi*; la forma inglese *belfry*, di analoga origine, rappresenta un caso di modificazione per associazione di idee con *bell*, campana.

Beccatello

Elemento in pietra (o talvolta in legno) che aggetta su una parete per sostenere un altro elemento di legno, un arco, un architrave e così via.

Bertesca (hourd)

Costruzione in legno aggettante, sulla parte alta delle mura, che permette di battere il fossato per facilitare la difesa. In origine, il francese *hourd* designava soltanto la protezione verticale in graticcio di queste parti sporgenti (*vedi* "tavellone").

Bislungo

Nella campata bislunga il piano non è quadrato, ma perfettamente rettangolare, dal momento che due dei quattro lati sono più lunghi degli altri. Un letterato che non sia un geometra parlerebbe di "doppio quadrato".

Bloccaggio

Muratura composta da un calcestruzzo (in genere comprendente elementi pesanti: rocce, pietre...) colato o versato alla rinfusa in una cassaforma, in un alveolo, in una fossa o tra paramenti di pietra o mattoni.

Bocca

Apertura in un muro. Il termine francese appartiene alla famiglia dei verbi *bèer*, spalancare (*béant*, beante, *bouche bée*, bocca aperta, *begueule*, santarellina), e *bailler*, sbadigliare (aprire... la bocca).

Bussola

Zona di mediazione a doppia porta utilizzata per evitare correnti d'aria in un'entrata.

Caditoia

Costruzione in muratura sporgente sulla sommità di un muro e a giorno al di sotto, che permette di riversare sugli assalitori proiettili o liquidi micidiali (pece, olio bollente, piombo fuso ecc.). L'etimologia del termine francese *machicoulis* ha dato luogo a ipotesi audaci e contradditorie. Inizialmente, questo dispositivo è apparso nella Francia

centrale e occidentale: in particolare, viene citato il castello di Niort. Ora, esisteva a un centinaio di chilometri da questa città una fortezza di nome Machecoul, costruita nel XVI secolo e che, all'inizio del XV, costituiva il rifugio del sinistro Gilles de Retz, ex compagno d'arme di Giovanna d'Arco giustiziato nel 1440, che rappresentò il prototipo di Barbablù. D'altro canto il nome, nella forma *machecolis*, compare nei testi soltanto nel 1402, mentre il verbo *machicouler* viene segnalato fin dal 1358 (Godefroy, Dauzat). Ritengo dunque che, come numerosi termini relativi all'edilizia, esso derivi semplicemente dal nome di questo castello, che nel XIV secolo fu probabilmente munito di una simile innovazione militare, sull'esempio di Niort o di altre fortezze. È da notare che Viollet le Duc (D.6.206) e Choisy (2.574) fanno risalire le prime caditoie francesi alla fine del XII secolo, rilevando che si sono diffuse solo a partire dal XIV: secondo Enlart (2.529), la sostituzione delle bertesche in legno con queste opere in muratura fu dovuta alla scarsità di legname, soprattutto in Terra Santa.

Calce

Polvere ottenuta dalla calcinazione di alcune pietre calcaree. Mescolata con acqua (spenta) libera calore e costituisce, con l'aggiunta di sabbia, malta di calce. La calce viva (non spenta) è corrosiva.

Calcestruzzo

Composto a base di acqua, legante, sabbia e sassolini (o anche piccoli elementi di pietra o mattoni macinati) che indurisce con l'essiccazione.

Il francese *béton* deriva dal latino *bitumen*. Il "legante" è in genere cemento o calce.

Calotta

Parte superiore di una cupola. Questo termine (dal germanico *skala*) è affine a *calot* (berretto), *cale* (stiva, fondo dello scafo di un'imbarcazione)... e *scalp* (cuoio capelluto, sommità della testa).

Campata

Distanza da sostegno a sostegno in un muro incavato, o tra i punti d'appoggio, regolarmente disposti, di una costruzione.

Canale di gronda (grondaia)

Condotto aperto nella parte superiore e destinato a ricevere e convogliare l'acqua piovana. Il termine appartiene alla stessa famiglia di canale, canna, canaletto di scolo. In origine, le grondaie erano fatte (come si può ancora vedere nelle costruzioni rurali di legno) con un mezzo tronco d'albero spaccato a metà e scavato; la confusione tra canale e canale di gronda è derivata dal vocabolo francese *chêne*, quercia, albero con cui talvolta venivano fabbricate le grondaie... Un termine della stessa famiglia, *canon*, designa una sorta di tubo, un recipiente cilindrico da cui sono derivati sia il cannone d'artiglieria che il... bicchiere di vino.

Capitello
Elemento sommitale di una colonna o di un pilastro, spesso decorato, che sostiene un soffitto, un architrave, un arco o delle nervature... Il capitello riceve i carichi convogliati dagli elementi che poggiano su di esso e li trasmette alla colonna o al pilastro.

Capra
Strumento generico di sollevamento composto da quattro montanti posati due a due a forma di V rovesciata, e da una traversa che sostiene una puleggia. È così chiamato per la sua vaga somiglianza con l'animale che ha questo nome.

Capriatella
Struttura costituita da travi di legno di piccola sezione che ricevono direttamente il tavolato o i listelli e il cui intervallo è analogo a quello delle capriate nella carpenteria classica.

Capriata
Parte essenziale di una struttura che permette di superare una certa luce e di sostenere il peso della copertura e dei suoi elementi di supporto. L'etimologia del sostantivo francese *ferme* è, a quanto sembra, la stessa dell'aggettivo *ferme*, fermo, che significa solido, stabile, irremovibile (in senso proprio e figurato).

Carrettone
Grosso e massiccio carro destinato al trasporto di carichi molto pesanti.

Cassaforma
Sorta di stampo in legno o in qualsiasi altro materiale (acciaio, plastica) in cui si fa colare calcestruzzo o pietrame, o sul quale vengono collocati gli elementi di una volta. La cassaforma viene smontata quando il calcestruzzo o la malta ha fatto presa e l'elemento in muratura può sostenersi da solo. Il termine francese *coffrage* deriva dal greco *kophinos*, cesta, canestro, cassa.

Catena
(tessitura) L'insieme dei fili che costituiscono un tessuto.
(ferramenta) Elemento lineare duttile costituito da anelli (o maglie) successivi agganciati gli uni agli altri, in genere di metallo.
(architettura) Serie di elementi giustapposti (ad esempio catena di pietre).
(architettura) Pezzo collocato alla base di una capriata, che impedisce l'allontanamento delle due metà di essa. Una catena si dice "rialzata" se è situata più in alto rispetto alla linea che lega i due piedi della capriata.

Catenaria
Curva secondo cui si dispone un cavo (o una catenella) sospeso tra due sostegni per effetto del proprio peso.

Cavicchio

Pezzetto di legno duro impiegato nella falegnameria o nella carpenteria per rendere solidale un tenone con il pezzo nel quale è praticata la mortasa che lo riceve (dal latino *clavicula*, piccola chiave).

Cemento

Polvere ottenuta mediante cottura di particolari pietre che, mescolata con acqua, si solidifica (vi si aggiunge della sabbia per formare una "malta" e degli aggregati per fare il "calcestruzzo"). Esistono cementi naturali ottenuti mediante la semplice macinazione di pietre, come la pozzolana: anch'essa, mescolata con acqua, si solidifica. Cemento viene dal latino *caementum* (da *caedere*, tagliare), che designa una scheggia di pietra, una pietra frantumata. Il termine è affine a "cesellare", "cesura, *ciseau* (scalpello), incidere, ucciso...". Il cemento è un "legante".

Cemento armato

Cemento nel quale sono state disposte armature metalliche per aumentare la coesione e la resistenza (in particolare alla trazione e alla flessione) degli elementi realizzati con questo materiale composito.

Centina

Opera provvisoria curva, generalmente in legno, destinata a sostenere un arco o l'armatura di una volta pendente che si mette in opera nel caso in cui quest'ultima non sia in grado di sostenersi da sola. Dal latino *cinctus*, cingere, circondare (della stessa famiglia di "cintura"), probabilmente imparentato con centro (in greco *kentron*), oggetto di una confusione con le parole derivate da questa origine, specialmente in *plein cintre* (tutto sesto), termine che designa un arco (o volta) tracciato secondo una curva a semicerchio.

Chiave

(ferramenta) Strumento portatile che, introdotto nel buco di una serratura, permette di manovrarla grazie alla forma appropriata della sua estremità, agendo all'interno della serratura (quindi di nascosto alla vista) su elementi che corrispondono esattamente alla forma della chiave, il che, in linea di principio, impedisce a una chiave che non corrisponda alla serratura di far scattare il meccanismo.

(architettura) Concio sommitale di un arco. La chiave di volta è comune a molti archi che vi si incontrano, ovvero il concio centrale di una cupola. Come la chiave di una serratura, la chiave di volta permette di "chiudere" la volta stessa.

Chiave o pietra a cuneo

Pietra di sezione nettamente trapezoidale, elemento costitutivo di un arco. Il francese *claveau* appartiene ai termini derivati da "chiave" (in latino *clavis*), da una radice che significa chiudere (cfr. *clore*, chiudere, chiodo, *enclaver*, intercludere, conclave...). *Vedi anche* "concio".

Chiave da muro

Elemento capace di resistere alla trazione, in legno o, più spesso, in ferro, combinato con la muratura (per impedire, ad esempio, a una volta di deformarsi).

Chiavetta

Piccola "chiave" avente almeno due facce convergenti che, inserite nei fori di due elementi distinti (catena e opera carpenteria), li riunisce incastrandoli mediante "inchiavettatura".

Chiodo

Termine di uso corrente per designare punte metalliche che terminano con un'estremità allargata in una capocchia più o meno accentuata, sulla quale si batte con un martello per piantare il chiodo stesso. Nell'edilizia, in Francia, al termine *clou* si preferisce il più elegante *pointe*, tranne che per certe categorie (*clou calotin*, chiodo a testa bombata, *clou à bateau*, chiodo da barca ecc.). La parola appartiene alla stessa famiglia di *clef* (chiave), *claveau* (chiave), *clavette* (chiavetta), *clavicule* (clavicola) e così via.

Chiostro

Costruzione coperta, limitata su un lato da mura e sull'altro da un'arcata o un portico che circonda una corte o un giardino. Il chiostro permette una circolazione esposta da un lato all'aria aperta e si richiude su se stesso in piano, consentendo così a chi vi passeggia di essere al riparo da correnti d'aria. È un elemento che esiste nella maggior parte dei monasteri e in alcuni cimiteri. Etimologia: dal latino *claustrare*, rinchiudere.

Coda

Estremità di una pietra di punta (pietra o mattone) incassata nella muratura.

Estremità del concio di una nervatura incastrato nello spessore della volta.

Colmo

Trave sommitale di un'orditura che sostiene il colmo della copertura.

Elemento in terracotta o metallo a cavallo della trave di colmo che fissa la sommità degli elementi superiori di ogni versante e forma il colmo della copertura.

Colonna

Elemento di sostegno isolato su tutte le sue facce, in genere cilindrico (regolare o sagomato in altezza) e con sezione orizzontale circolare. Può essere monolitica o composta da "tamburi" sovrapposti.

Componente

Quando si rappresentano le forze per mezzo di vettori, le componenti sono forze applicate a uno stesso punto, ma divergenti, dalle quali si deduce graficamente la forza "risultante", unica, che si esercita su quel punto.

Concio

Pietra usata per volte. Ci siamo sistematicamente sforzati di riservare il termine francese *claveau* alle pietre con la stessa funzione, che compongono un arco separato o nettamente differenziato, ad esempio una nervatura o un arco doppio, mentre *voussoir* (concio) appartiene alla famiglia di *voûte*, volta.

Contrafforte

Blocco in muratura addossato a un muro al fine di sostenerlo ed evitarne il crollo per effetto di una forza laterale (spinta di una volta, del vento o, in caso di muri di sostegno, del terreno).

Massa in muratura che forma un piedritto all'estremità di un arco rampante, di una serie di archi rampanti o di archi successivi.

Controcuspide

Curvatura che viene data al momento della collocazione o della preparazione a un supporto orizzontale (architrave, trasverso, cassaforma) affinché, una volta caricato, sia (per la flessione e sotto il peso) assolutamente orizzontale.

Copertura

L'insieme degli elementi che proteggono una costruzione contro la pioggia.

Coprigiunto

Elemento destinato a nascondere un giunto, ovvero un raccordo tra due superfici.

Corda

(architettura, geometria, tecnologia delle armi...) *Vedi* "arco" e "freccia".

Elemento lineare flessibile composto da diversi fili avvolti a tortiglione o intrecciati di fibre vegetali, minerali, metalliche o anche artificiali. La stessa generale definizione può applicarsi a prodotti con sezione più piccola, come funicelle, spaghi, lacci, fili... o più grande, come funi, cavi...

Cordicella

Filo o spago che serve per tracciare.

Cordone

Elemento allungato a sezione circolare. Esempio: nervatura cordonata.

Il termine francese *boudin* evoca la forma del prodotto di salumeria con lo stesso nome (sanguinaccio: involucro cilindrico ripieno di carne e sangue cotto) e appartiene alla famiglia del *pudding* (preparazione gastronomica dolce composta da una miscela eterogenea colata e cotta in un telo o in un recipiente) e della puddinga (pietra eterogenea che ricorda l'aspetto del pudding).

Coro

Parte essenziale della chiesa, in cui officia il sacerdote e rimangono i suoi assistenti più stretti: è la parte situata oltre il transetto nelle chiese a pianta cruciforme.

Corso
Massa di materiale che serve come appoggio inferiore a una costruzione. Spesso il termine designa anche un letto di pietre da costruzione o di mattoni.

Costolone
Parte sporgente e lineare formata dall'incontro di due superfici di muratura. Questa linea sottile, allungata e prominente ricorda la lisca di pesce designata in francese dallo stesso termine (*arête*), perché i letti di pietre divergono regolarmente da essa come le spine secondarie di una lisca di pesce.

Cretiau
Sorta di piccolo ripiano all'interno di una copertura in pendenza o sullo spiovente di un pignone, ricavato allo scopo di facilitare la circolazione e i lavori.

Cripta
Locale nel sottosuolo di una chiesa, in genere sotto il coro o la navata (dal greco *cryptos*, nascosto).

Crociera
Indica una finestra, perché le traverse o l'intelaiatura di una finestra classica disegnano appunto delle croci.
Indica ogni tipo di incrocio tra elementi (crociera delle navate, volta a crociera, incrocio di corridoi).

Cupola
Volta con sezioni orizzontali circolari (o eventualmente ellittiche). Le cupole possono essere emisferiche od ovoidali, secondo la curva della sezione verticale.

Curvatura
Una superficie presenta una curvatura quando una delle sezioni che attraversano un piano è una curva. Qualora, secondo le generatrici della superficie, anche la sezione sia una curva, la superficie stessa si dice "a curvatura doppia"; se invece la sezione secondo un piano perpendicolare alla curva è una retta, la superficie si dice "sviluppabile".

Deambulatorio
Spazio situato in genere su un piano circolare o poligonale che circonda il coro di una chiesa e permette di passare da un lato all'altro senza attraversare la navata o il coro.

Doccione
Elemento sporgente cavo, spesso scolpito o decorato, che scarica a distanza l'acqua di un canale di gronda.

Ellisse
La somma delle distanze di ogni punto di un ellisse dai due fuochi è costante; in pratica, quindi, questa curva viene tracciata utilizzando una cordicella di lunghezza co-

stante fissata ai due fuochi e lungo la quale, tendendo la cordicella, si muove lo strumento tracciatore.

Épure ***(proiezione ortogonale)***
Disegno geometrico molto preciso.

Equilatero
Designa l'arco a sesto acuto i cui peducci e la cui intersezione si trovano a eguale distanza tra loro. Questi tre punti formano un triangolo equilatero.

Estradosso o Sopraimbotte
Superficie esterna di una volta o di un arco.

Feritoia
Stretta apertura verticale alla sommità di un muro, in genere destinata a un uso militare (gli elementi pieni situati tra feritoie successive si chiamano merli). La feritoia permette a un tiratore di puntare e sparare o scoccare rimanendo ben protetto.

Fiammeggiante
Designa il gotico molto ornato e sofisticato che si sviluppò soprattutto in Francia, nelle Fiandre e sulle rive del Reno, a partire dal XIV secolo.

Filetto
Sottile nervatura che corre come un filo sulla superficie di un paramento di muratura (dal latino *filium*, filo).

Finestratura
Elementi che compongono e suddividono un'apertura destinata all'illuminazione, una "finestra" (dal latino *fenestra*). Forse imparentato con fessura, fenditura (dal latino *fendere*, aprire; in effetti, una finestra è un'apertura).

Flessione (per carico di punta)
Flessione di un elemento sottile per effetto delle forze applicate alle sue estremità, nel senso della lunghezza maggiore. Pertanto, un'asta o un travicello possono "flettersi" per effetto di un carico (se non sono sostenuti al centro o "puntellati"), anche quando la loro sezione e resistenza alla pressione sarebbero di per sé sufficienti. È ciò che avviene quando ci si appoggia troppo su una canna.

Formeret
Arco situato all'incontro tra una volta e una parete verticale parallela all'asse della navata principale (ad esempio, un muro esterno). Dal latino *forma*, che ritroviamo in... formaggio. Forse il *formeret* si chiama cosi perché è sulla parete verticale che si disegna la curva, la "forma" della volta. Ciò è altresi nettamente visibile nelle tecniche usate per le costruzioni rurali egiziane descritte da Hassan Fathy.

Freccia

(tecnologia delle armi) Proiettile di forma molto allungata stabilizzato nella sua traiettoria dall'impennatura posteriore, mentre l'altra estremità è in genere fornita di una punta. La freccia viene lanciata ("scoccata") da un arco (o una balestra) che si rilassa bruscamente quando si lascia la corda che lo tende; questa corda passa in una "cocca" posizionata dietro la freccia.

(geometria) Lunghezza della perpendicolare tracciata dal vertice di un "arco" alla sua "corda" (che per un arco, nel senso di arma, corrisponde al punto in cui si colloca il proiettile chiamato freccia prima di tendere l'arco stesso).

(edilizia) Una trave (o una piattaforma) "si inflette" per effetto di un carico (o sotto il proprio peso): la sua freccia è l'altezza alla quale il centro della trave si abbassa in rapporto alla linea retta che collega i suoi due sostegni.

(architettura) Cuspide terminale molto aguzza di una torre o di una parte di copertura.

La parola "freccia" significa "che vola"; è affine al tedesco *fliegen*, volare, e all'inglese *to fly*, con lo stesso significato, da cui *flying buttress*, arco rampante (letteralmente, "contrafforte volante").

Fruit ***(Inclinazione della parete esterna di un muro)***

Caratteristica della parete esterna di un muro che presenta una certa inclinazione verso l'interno dell'edificio (ad esempio, nel caso di un muro progressivamente più sottile verso l'alto o di una guglia di torre i cui paramenti sono inclinati verso la sommità). Si dice *avoir du fruit, présenter du fruit.*

Gattello

Mensola di legno fissata su una struttura in pendenza per sostenere un elemento orizzontale.

Generatrice

Linea che, muovendosi in modo definito, genera una superficie.

Giunto

Spazio tra due pietre (in genere riempito di malta, a meno che le pietre non siano posate a secco).

Soluzione di continuità o raccordo tra due elementi costruttivi.

Graticciata

Pannello fatto di graticci realizzati con rami ed eventualmente pali: viene utilizzata per arginare masse di terra, in particolare scarpate o dune, o in montagna per evitare slittamenti o trascinamenti del suolo per azione dell'acqua.

Graticcio

Elemento piatto costituito da bacchette flessibili (spesso di vimini) intrecciate secondo due direzioni perpendicolari come un tessuto. I graticci servono come copertura, talvolta come piattaforma o, in campagna, come sottile separazione. Nel Medioevo, e ai nostri giorni ancora in Africa, venivano utilizzati come recinzioni trattenute da pali in-

fissi nel suolo, e nei cantieri anche come pavimenti per consentire la circolazione o protezioni laterali, eventualmente come fondo per l'armatura delle volte. In generale, graticci realizzati con rami relativamente pesanti si chiamano "graticciate" (*vedi*). Il termine viene dal gallese *cleta*.

Graticolato
Rete fatta di elementi di legno a sezione piatta (o di rami flessibili) intrecciati e a giorno, utilizzata per sostenere piante rampicanti o per costituire una leggera separazione. Il termine francese *treillage* viene da *treille* (pergola), dal latino *trichila*, pergolato, il cui senso non si è allontanato da questa origine (*vedi* "traliccio").

Impalcatura
Superficie di tavole (accostate o in graticciata) su un ponteggio o una volta.

Incavallatura o Capriata
Le incavallature o capriate sono opere di carpenteria a sezione triangolare che, posate in generale nel senso della maggiore pendenza, ricevono i supporti della copertura (orditura del tetto o listelli). Il loro nome deriva dal modo in cui, su un tetto a due spioventi, poggiano a V rovesciata, come i piedi di una capra.

Incrostazione calcarea
Pellicola dura che si forma sotto l'azione dell'aria, dell'acqua e delle intemperie sulla superficie delle pietre calcaree da taglio.

Infisso (huisserie)
Cornice in legno (o metallo, o qualsiasi altro materiale) di una porta, composta da due montanti e una traversa superiore. *Huis* è un termine arcaico per porta. La parola viene dal latino *os*, bocca, orifizio, da cui *ostium*, entrata (Ostia: foce del Tevere). Forse affine a "ostia", nonostante l'etimologia erudita del latino *hostia* (vittima espiatoria), che ha sostituito questa ortografia all'antico francese *oiste*.

Inflessione
È il fenomeno per cui una trave o una piattaforma si incurva sotto una spinta verticale.

Intaccatura
Difetto superficiale del legname, dovuto a una parte di corteccia o di alburno (strato situato appena al di sotto della corteccia e più tenero del durame) distaccata da un tronco spaccato o sgrossato, che forma una cavità, un "difetto" (il termine francese *flache* è affine a *flaque*, pozzanghera, e a *flasque*, fiasca, che designano una cavità o un oggetto cavo/vuoto). Dal latino *flaccus*, molle.

Intradosso o Imbotte
Faccia interna di una volta o di un arco.

Lauze

Elemento di copertura in pietra (liscia o incisa). Le *lauze* vengono posate a copertura le une sulle altre, come tegole o lastre di ardesia.

Lesena

Colonna addossata o incassata in una parete (talvolta semplice modanatura verticale che accentua la ricaduta delle nervature e suddivide il muro).

Letto

Questo termine designa ogni "strato" orizzontale e in particolare, nell'ambito edilizio, uno strato di malta, sabbia o pietre steso o disposto orizzontalmente.

Listello

Sottile striscia di legno: nei tetti i listelli, di sezione quadrata, sostengono gli elementi di copertura (tegole, lastre di ardesia e così via). Il francese *liteau*, affine a *liste*, lista, che nel linguaggio edile indica una stretta fascia (da cui lista nel senso di enumerazione di nomi scritti in colonna su un foglio lungo e stretto), oltre che a *listel*, che designa una fine modanatura, e a *lice*, lizza, che significa steccato, deriva probabilmente dal tedesco. Per altri, invece, sarebbe affine al termine *lit*, letto.

Livellazione

L'azione di mettere sullo stesso livello. Si dice anche "livellamento", poiché il termine "livellazione" designa più spesso un'operazione da geometra, ovvero l'insieme delle quote del livello da quest'ultimo rilevate su un terreno.

Luce

La luce di un arco è la larghezza dello spazio che esso scavalca da peduccio a peduccio. Se si tratta di un arco a tutto sesto, è uguale al diametro. La luce di una capriata è la larghezza tra i due sostegni.

Malta

Miscela di acqua con sabbia e cemento, oppure sabbia e calce, che fa presa con l'essiccazione. Serve ad assicurare l'aderenza di pietre tra loro e a impermeabilizzare dalla pioggia opere murarie. In origine, il termine francese *mortier* designava il recipiente (mortaio), dal latino *mortarium*, nel quale veniva preparata questa miscela. Forse imparentato con "mortasa", che indica un foro modellato nel legno, ma che sembra derivi dall'arabo *murtazza*, fisso.

Marra

Strumento da carpentiere che serve a levigare la faccia a vista delle tavole di legno.

Strumento analogo usato dai muratori per levigare un intonaco, una volta, un paramento sottile.

Modanatura
Motivo decorativo lineare e sporgente. Il termine proviene dal latino *modulus*, misura (da *modus*, modo, maniera), da cui è derivato il francese *moule*. Parole affini: modello, moda, modulo, moderno, accomodare...

Moise/Moisage
Il *moisage* è un sistema di assemblaggio attraverso il quale una struttura viene fortemente serrata tra altre due che si chiamano saette (di testa). Secondo alcuni, il termine verrebbe dal latino *mensa*, tavola. Più verosimilmente, potrebbe aver avuto origine da *medius* (che si trova in mezzo), da cui sono derivati anche "metà" e "mezzo" (radice greca *meso*, mezzo, centro).

Monaco
Struttura verticale che collega la catena alla sommità della capriata. Sollevato dai puntoni tenuti fermi al piede dalla catena, il monaco ha normalmente la funzione di alleggerire il centro della catena. Tuttavia, nelle antiche opere di carpenteria esso poggia ("porta") spesso su questa stessa catena, che pertanto lavora in "flessione" e nello stesso tempo in "trazione": se ne deduce quindi che deve rappresentare una sezione molto forte, un dispositivo che limita la portanza della capriata, che non può superare quella di una pesante trave.

Monolito
Fatto con un solo blocco di pietra (dal greco *lithos*, pietra).

Montante
Elemento verticale che riquadra un'apertura. Il francese *meneau* deriva dal latino *medianus*, collocato al centro.

Mortasa
Alveolo praticato in un elemento (in genere di legno) dell'esatta dimensione di un tenone e idoneo a riceverlo. Questo termine verrebbe (?) dall'arabo *murtazza* (fisso), anche se forse è affine a "mortaio" (recipiente cavo).

Muro di gronda
Muro che sostiene la grondaia: designa il muro verso il quale scende la pendenza di un tetto (in opposizione al muro "pignone").

Navata
Volume principale di una chiesa. Il termine, che designa un grande volume coperto (che in francese è chiamato anche *vaisseau*, vascello), viene utilizzato per analogia con l'interno di una nave, dal momento che la struttura di una navata con volte evoca un'imbarcazione rovesciata.

Navata laterale
Successione di volte lungo una navata principale e di altezza inferiore rispetto a questa, il che permette di illuminarla dall'alto (*vedi anche* "navatella").

Navatella
Navata secondaria parallela alla principale e di altezza inferiore rispetto ad essa.

Nervatura
Elemento allungato che sporge in rilievo da una superficie (in genere una volta). La parola inglese corrispondente è *rib*, che allude anche alle costole dei vertebrati.

Nervatura a crociera
Elemento in rilievo che collega la chiave della volta a crociera ogivale alla chiave dell'arco doppio o del *formeret* e mette in risalto il colmo della volta stessa.

Norme (Normalizzazione)
Le norme sono regole che si applicano a tutti gli elementi costruttivi di una certa categoria che, qualora si conformino ad esse, si dicono "normalizzati". Dal latino *norma*, regola.

Ogiva
Termine che andrebbe riservato agli archi incrociati che formano la volta a crociera ogivale, ma impropriamente esteso da alcuni autori, sotto l'influsso romantico, all'arco a sesto acuto. L'ogiva può essere in arco a sesto acuto, ma generalmente è a tutto sesto.
Per gli artiglieri, l'ogiva designa la testa (la cui curva generatrice è in genere un arco a sesto acuto) di una granata.

Ordinata
Le ordinate sono gli elementi strutturali delle imbarcazioni, formati da due metà simmetriche e regolarmente disposti in senso perpendicolare rispetto all'asse, sui quali vengono fissati gli elementi che costituiscono lo scafo. Adempiono alla stessa funzione per lo scafo di una barca e per le capriate di un tetto. Il termine francese *couple* viene dal latino *copula*, legame, unione.

Ordinata maestra
La più larga delle sezioni trasversali di una nave, od "ordinate".

Ottoniano
Relativo all'epoca (o all'architettura) degli imperatori germanici (Ottone I, Ottone II, Ottone III) che regnarono nel X secolo e all'inizio dell'XI, e fondarono il Sacro Romano Impero Germanico.

Ovoide
La cupola ovoide è quella la cui sezione ricorda quella di un uovo (la cui curvatura è più accentuata al vertice che alla base).

Paglia
Materiale di copertura a base di steli secchi di cereali.

Pannello
Si chiama anche "scomparto" o "triangolo di riempimento". Indica le parti di volta situate tra le nervature.

Peduccio
Punto di partenza alla base della curva di una volta o di un arco.

Penetrazione
Intersezione tra due volte su assi non paralleli.

Pennacchio
Parte di volta che raccorda una cupola con gli angoli di un volume sul piano quadrato da essa ricoperto.

Piano di imposta
Dispositivo secondo il quale i letti di pietre vicini al peduccio di un arco (o di una volta) sono orizzontali e non a raggiera, essendo posati in aggetto successivo su una certa altezza.

Piastrella
Pietra o mattone la cui superficie maggiore è visibile sulla parete del muro (si oppone a "pietra di punta": *vedi*).
Lastra da pavimentazione (di cui normalmente è visibile la faccia più grande).
Elemento di un'invetriata (che si presenta anch'esso alla vista con la faccia più grande).

Piattaforma
Superficie piana orizzontale che forma un supporto. Nel linguaggio edile, una piattaforma non dev'essere necessariamente di legno (un "tavolato"), ma può essere realizzata anche in cemento armato o in metallo. Il termine francese *plancher* deriva da *planche*, a sua volta proveniente dalla parola greca che designa un grosso tronco di legno o un bastone, da cui l'affinità con *phalange*, falange, con la stessa etimologia, e *palan* (paranco, leva di legno). Il termine è stato influenzato dall'analogia con *plan*, che allude a una superficie piana e fornisce un'altra probabile etimologia.

Piedritto
Massa utilizzata per ricevere le spinte di una volta o di una serie di volte. Può essere costituita da un contrafforte, un arco di spinta, un muro perpendicolare o anche semplicemente dalla massa di terra o di roccia già presente sul posto nel caso di volte sotterranee o di ponti.

Pietra di punta
Pietra (o mattone) la cui dimensione maggiore è perpendicolare alla faccia del muro di cui fa parte, per cui si presenta di "punta".

***Pietre da costruzione* (moellon)**
Pietre di piccole dimensioni e di forma irregolare, in genere utilizzate nelle murature a secco o con grossi giunti di malta.

Pignone
Muro all'estremità di una costruzione, che si innalza fino alla trave di colmo ed è limitato dalla copertura e dagli appiombi delle facciate. Quando la copertura è in pendenza, il pignone presenta costoloni "rampanti".

Pilastro
Robusta struttura di sostegno isolata che riceve una capriata o una volta.

Pilone
Sostegno composto mediante sovrapposizione (impilamento) di letti sovrapposti di pietre o mattoni.

Pinnacolo
Piccola cuspide o guglia posata su un contrafforte o su una colonna esterna di un arco di spinta. Mediante il suo peso, il pinnacolo aumenta la stabilità del contrafforte. Parola affine a *penna* (piuma).

Portico
Serie di due o più colonne che sostengono un architrave o diversi architravi successivi.

Prefabbricazione
Sistema che consiste nel fabbricare in anticipo mediante taglio o sagomatura alcuni elementi, standardizzati o meno. La prefabbricazione è facilitata dalla standardizzazione (cfr.), che permette di ridurre il numero dei diversi modelli da riprodurre (quindi, semplificando il lavoro a tutti i livelli) e di rendere interscambiabili i pezzi fabbricati. Nell'ambito delle parti modanate, consente di limitare il numero degli stampi (in genere costosi). Per le pietre si utilizza il termine "pretagliate" invece di "prefabbricate".

Puntello
Trave di legno posta verticalmente o di sbieco che serve a sostenere provvisoriamente ("puntellare") una costruzione.

Puntone
Uno dei pezzi principali di una capriata: i due puntoni sono disposti come gli elementi principali di una balestra messa in tensione dalla corda (rappresentata in carpenteria dalla catena). Il termine francese *arbalètrier* viene da *arbalète*, balestra; la sua etimo-

logia rappresenta opportunamente l'analogia di funzione tra una capriata di carpenteria e un arco di volta.

Rampa

Si dice di elementi costruttivi (di qualsiasi materiale) lanciati sopra un vuoto e che si ripetono, succedendosi o sovrapponendosi. Le rampe di una scala sono le serie di gradini che separano i livelli successivi (una semirampa attraversa solo mezzo piano), mentre quelle degli archi rampanti sono le serie sovrapposte o successive di archi che trasferiscono le spinte da un pilone all'altro fino alla guglia terminale.

Rampante

Designa una superficie o un costolone che forma un angolo con l'orizzontale (ad esempio una longherina o un sottoscala, oppure il costolone di un pignone che delimita gli spioventi di un tetto).

Raschiatura

Finitura o riparazione sul posto di una facciata.

Regolo

Asticciola di legno a sezione rettangolare che si colloca di piatto per ricevere tegole o lastre di ardesia.

Reni di volta

Parti di un arco o di una volta situati più o meno alla metà della distanza tra i peducci e la chiave (il termine non si impiega al singolare).

Reticolazione

Divisione di una superficie in quadrati o rettangoli.

Metodo che permette, grazie a quadrettature in scale differenti, di riprodurre disegni ingrandendoli o riducendoli.

Termine affine a "grigliato", di cui rappresenta un sinonimo dotto.

Ricorso

Strato di sabbia, malta o pietre disposto in modo tale che il suo livello superiore si trovi su un piano orizzontale.

Rintonacatura

Finitura o riparazione sul posto di una facciata.

Rocchio

Elemento di sezione orizzontale circolare che entra nella costruzione di una colonna; il francese *tambour* ricorda per la sua forma lo strumento a percussione con lo stesso nome.

Sagoma
Pezzo che serve da modello o da guida per fabbricare, tagliare o assemblare un elemento costruttivo. Se pezzo di legno e di spessore sottile tagliato secondo una curva serve da guida e supporto alle tavole posate sopra di esso (*cerce*).

Saracena
Tecnica che permette di costruire volte o scale con mattoni bloccati per mezzo di gesso (o cemento a presa rapida) senza impiegare centine. Il termine indica chiaramente l'origine di questa tecnica.

Sassanide
Dinastia che regnò in Persia dal III al VII secolo d.C.

Scagliola
Materiale proveniente dalla cottura del gesso. Mescolato con acqua, il gesso fa presa formando una massa solida, ma relativamente fragile e poco resistente all'acqua. Il gesso è leggermente espansivo quando "prende", il che lo rende particolarmente idoneo alle modanature.

Scivolo
Elemento poco aggettante che disperde all'esterno di un edificio l'acqua caduta dalla copertura e raccolta da una grondaia o da un canale di gronda. Si chiama anche "canale di scolo".

Scomparto
Parte di volta situata tra le nervature, gli archi doppi o i *formeret*. Talvolta si chiamano anche "triangoli di riempimento" o "pannelli". Il suo equivalente inglese *web* evoca un tessuto, una tela.

Serraglia
Parte terminale della volta. Una volta su cui è stata posata la chiave si dice "chiusa". La parola è da accostare al termine "capriata", che designa un'opera di carpenteria che supera una luce, proprio come l'arco o la volta (che si "chiude" posando la chiave di volta).

Serramento
Elemento quale una persiana o l'anta atta ad assicurare la chiusura di un'apertura.

Sghemba
Si dice di una superficie non sviluppabile e non di "rotazione", ad esempio quella generata dalle rette che poggiano su due rette non parallele tra loro e situate su piani diversi.

Sgrossamento
Prima, sommaria lavorazione di un elemento di pietra o di legno prima di scolpirne i dettagli.

Slancio
Proporzione tra la larghezza e l'altezza di un arco. Un arco a sesto acuto è di forma più "slanciata" rispetto a un arco a tutto sesto con la stessa luce.

Squadratura
Indica il taglio di un tronco di legno lavorato per renderlo perfettamente squadrato. Il francese *équarissage* è affine al termine *carré* (un tempo *quarré*. Cfr. villaggio con questo nome nel Morvan).

Stacco
Parte di una veduta prospettica o di un alzato da cui sono stati tagliati alcuni elementi per farne meglio comprendere la struttura. Il francese *arrachement* deriva dal latino *ab radicare* (da *radix*, radice) che significa cavare, sradicare.
Villard de Honnecourt ha menzionato gli "erracenmens" (s-*radicamenti*), divenuti poi *enracinements*, termine con la stessa radice ma prefisso diverso, benché di senso analogo. Dal latino *eradicare*, che ha lo stesso suffisso e la stessa radice di *erracenmen*, i letterati del Rinascimento hanno tratto "sradicamento". Per Villard de Honnecourt, è la pietra di un peduccio d'arco, vale a dire l'ultima del "piano di imposta" da cui si diramano le nervature, come le radici si diramano dal tronco di un albero.

Stampo
Alveolo, recipiente, cassaforma in cui si fa colare sotto forma liquida o pastosa un materiale destinato a indurirsi (ad esempio, coppi, mattoni, vetro, conglomerati...). Questo sistema permette la standardizzazione degli elementi che, così "prefabbricati", risultano identici e intercambiabili.

Standardizzazione
Sistema che impone dimensioni fisse a elementi costruttivi. Proviene dal latino *tendere* (tendere e, di conseguenza, misurare, azione che si compie tendendo una cordicella), da cui derivano in particolare i termini estendere, attenzione, tenda, tesa (cfr. "prefabbricazione").

Statica
(sostantivo) Scienza dell'equilibrio delle forze.
(aggettivo) Che non si muove, in opposizione a dinamica.

Stereotomia
Scienza del taglio delle pietre che consente di stabilirne gli schemi di esecuzione. Fa appello a nozioni di geometria descrittiva spesso complesse, oltre che a conoscenze in materia di statica e di resistenza dei materiali.

Sviluppabile
Si dice di una superficie che è possibile riprodurre esattamente a grandezza naturale su un piano: ad esempio, è possibile "sviluppare" una foglia in forma di cono o di cilindro e disegnarla su un piano, mentre una sfera o un toro non sono sviluppabili (*vedi* "curvatura").

Tableau
Faccia verticale di una parete che forma, in piano, un angolo con la faccia principale di essa, da una parte e dall'altra di un'apertura (porta o finestra). Si tratta, insomma, di una "fetta" del muro.

Taglia
Combinazione di pulegge che permette di sollevare grossi pesi con poco sforzo. Il termine viene dal tedesco *muffel*, muso (come il francese *mufle*).

Tavellone
Materiale di riempimento (in legno, metallo o altri materiali) di un solaio, vuoto o pieno, prefabbricato o meno (il francese *hourdis* deriva dal tedesco *hürde*, graticcio, come il termine *hourd*, bertesca).

Tavolare
Rivestimento esterno di protezione di un muro in "assicelle" (*vedi*) o in elementi di copertura di qualsiasi genere (tegole, lastre di ardesia, zinco...).

Tavolato
Fondo provvisorio, piano o curvo, in genere poggiato su centine e destinato a sostenere la muratura in pietra o in calcestruzzo della volta durante la sua costruzione.

Tenone
Parte sporgente (in genere di legno) destinata ad essere inserita in una cavità (la "mortasa") praticata in un altro pezzo al fine di assicurare l'aderenza tra i due elementi.

Terzo punto
(architettura) Alcuni ritengono che l'arco a sesto acuto detto "terzo punto" si ottenga dividendo in tre la luce (base dell'arco) e tracciando i due segmenti dell'arco dopo aver preso come centri i punti situati a due terzi dalla base partendo dai peducci. Viollet le Duc applica questo termine a tutti gli archi a sesto acuto. In realtà, sembra che per gli architetti gotici il terzo punto fosse l'arco a sesto acuto la cui base viene suddivisa in quattro parti uguali da tre punti (l'asse e i due centri delle curve). È quanto risulta da un attento esame degli schemi e delle relative didascalie di Villard de Honnecourt.
(ferramenta) Il termine francese *tiers point* designa una lima che ha per sezione un triangolo equilatero e che serve in particolare ad affilare le seghe.

Timpano
Parte di muratura piena che forma il riempimento sotto un'arcatella (ad esempio, sopra una porta di chiesa), come una pelle di tamburo tesa o il timpano dell'orecchio (dal greco *tympanon*, tamburo).

Tirante
Elemento (in genere di metallo) che collega i peducci di una volta per evitare che si allontanino. Elemento che adempie alla stessa funzione alla base di una struttura.

Toro
Solido di rotazione generato da un cerchio intorno a una retta esterna situata sullo stesso piano. Si parla di nervature "toroidali" o cordonate, termine che rende meglio l'idea. Una camera d'aria gonfiata è a forma di "toro".

Traliccio
Rete di rami intrecciati (ma si applica anche a travature metalliche fatte di elementi intrecciati). Il termine proviene dall'antico francese *trez liz* (tre letti o tre listelli) che designava un tessuto a tre fili, e non da *treille* (pergola), con cui è stato confuso. Pertanto, dovrebbe essere logicamente riservato alle strutture tridimensionali.

Trama
(tessitura) Una delle reti costitutive di un tessuto.
(architettura) Ideale divisione regolare composta da rette parallele, a partire dalla quale si compone una costruzione.

Transetto
In una chiesa con pianta a croce, indica il volume perpendicolare alla navata; la parte in comune con quest'ultima si chiama crociera del transetto.

Traversa
Importante struttura posta di sbieco e in genere su un piano verticale, che collega due elementi per evitare la deformazione dell'angolo formato da questi ultimi.

Traversino
Piccola struttura destinata a evitare la flessione di un altro pezzo o la deformazione di un angolo e posta perpendicolarmente o di sbieco in rapporto agli altri pezzi.

Traverso
Pezzo di legno diritto, scortecciato, scalvato ma non riquadrato, di sezione sostanzialmente rotonda. Il francese *boulin* appartiene alla famiglia di *boule*, che designa ciò che è tondo, da ravvicinare al pane detto *boulot* (pagnotta rotonda) e a *boulanger* (panettiere, ossia colui che forma pagnotte rotonde). La parola designa anche il foro in cui poggiano i travicelli di legno delle impalcature in un muro e gli analoghi fori di un sottotetto.

Tromba
Porzione di volta in aggetto nell'angolo di un volume, destinata a sostenere la costruzione che la sovrasta; la forma di questo elemento (conico o per archi sovrapposti) evoca il padiglione di una tromba (strumento musicale o di segnalazione a forma di cono svasato).

Vela o spicchio
Elemento di volta (*vedi*) di piccole dimensioni, appoggiato da una parte e dall'altra su ossature, muri, archi, nervature, travicelli...

Volta
Costruzione in muratura che la disposizione a raggiera delle giunzioni dei suoi diversi elementi mantiene stabile su appoggi al di sopra di un vuoto. Dal latino *volutus*, rotondo, avvolto. Il termine è affine a "voluta, evoluzione, archivolto, volume (pergamena o papiro arrotolato), valvola, volva, valzer...". Esistono anche volte piatte: sono quelle che, nonostante la disposizione a raggiera dei loro giunti, che rappresenta la caratteristica essenziale della volta, mostrano un intradosso rettilineo e orizzontale.

Volta a botte
Volta continua di forma cilindrica.

Volta cieca
Volta in genere di piccole dimensioni e incassata in una parete.

Volta gotica
Volta a crociera ogivale intersecata da una nervatura centrale perpendicolare all'asse della navata e ricadente su pilastri da entrambe le parti. Pertanto, la volta si trova divisa in sei compartimenti invece che in quattro, e ogni crociera ogivale corrisponde a due aperture per la luce da ogni lato e a due campate delle navate laterali. Dal momento che la navata laterale è in genere di larghezza corrispondente alla metà di quella principale e composta da campate quadrate, questa soluzione facilita il raccordo con la navata principale, le cui colonne si trovano ad essere duplicate da altre che hanno il solo compito di sostenere le navate laterali. Una volta sperimentato questo sistema, gli architetti di epoca gotica fecero ricorso alle volte "bislunghe" per la navata principale, soluzione più logica che presentava minori difficoltà di raccordo dei compartimenti: tutte le colonne, sia della navata principale che di quelle laterali, diventavano portanti.

Volta quadripartita
Volta a ogiva divisa in quattro compartimenti dall'incrocio delle nervature; si oppone alla volta "gotica" (*vedi* questo termine). Questa volta può essere su piano quadrato o rettangolare ("bislungo").

Le radici delle cattedrali

L'architettura gotica espressione delle condizioni ambientali

Ogni singolo elemento architettonico delle cattedrali gotiche può essere visto come una precisa risposta alle pressioni, non sempre favorevoli, dell'ambiente in continuo mutamento, dove tutto è legato a tutto e dove, quindi, la notevole crescita della popolazione rurale, ad esempio, procede di pari passo con un aumento della produttività agricola ma pure, contemporaneamente, con un progressivo restringimento dello spazio boschivo e con una drammatica penuria del bestiame. Il costruttore medievale deve rispondere a questa molteplice sfida ambientale, ideando sempre nuove soluzioni tecniche che gli permettano di economizzare il legname e di ridurre al minimo, dunque, l'uso di opere provvisorie (centine, impalcature, ecc.) e di alleggerire al massimo la costruzione. Nell'originale tesi di Bechmann lo stile gotico si configura, in tal modo, non tanto come un'astratta scelta di gusto quanto come una concreta strategia di costruzione, particolarmente integrata e rispondente alle sollecitazioni ambientali: un'architettura ecologica.

ISBN 88-86495-84-6